



TUGAS AKHIR - MO141326

ANALISIS DAMPAK VARIASI KEDALAMAN AIR TERHADAP PERFORMA *CALM BUOY* UNTUK KONDISI PERAIRAN DANGKAL

RIZKI KRESNA WIBOWO

NRP. 4312 100 057

Dosen Pembimbing :

Murdjito, M.Sc.Eng.

Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016



FINAL PROJECT - MO141326

THE ANALYSIS OF IMPACT OF DEPTH WATER VARIATION TO THE PERFORMANCE OF CALM BUOY FOR SHALLOW WATER CONDITIONS

RIZKI KRESNA WIBOWO

REG. 4312 100 057

Supervisors :

Murdjito, M.Sc.Eng.

Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc.,Ph.D.

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016



TUGAS AKHIR - MO 141326

ANALISIS DAMPAK VARIASI KEDALAMAN AIR TERHADAP PERFORMA *CALM BUOY* UNTUK KONDISI PERAIRAN DANGKAL

RIZKI KRESNA WIBOWO

NRP. 4312 100 057

Dosen Pembimbing

Murdjito, M.Sc.Eng.

Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



TUGAS AKHIR - MO 141326

THE ANALYSIS OF IMPACT OF DEPTH WATER VARIATION TO THE PERFORMANCE OF CALM BUOY FOR SHALLOW WATER CONDITIONS

RIZKI KRESNA WIBOWO

NRP. 4312 100 057

Supervisors

Murdjito, M.Sc.Eng.

Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.

OCEAN ENGINEERING DEPARTEMENT

Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

**ANALISIS DAMPAK VARIASI KEDALAMAN AIR
TERHADAP PERFORMA *CALM BUOY* UNTUK KONDISI
PERAIRAN DANGKAL**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknolohi Sepuluh Nopember Surabaya

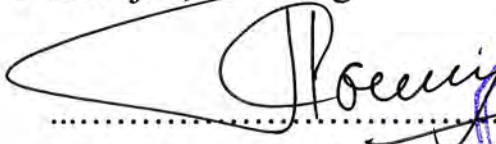
Oleh:

RIZKI KRESNAWIBOWO NRP. 4312100057

Disetujui oleh:

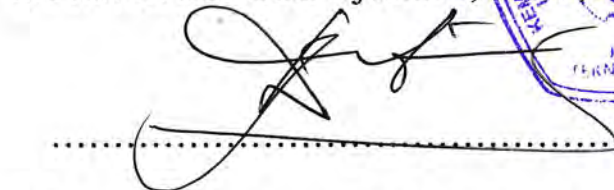
1. Murdjito, M.Sc.Eng

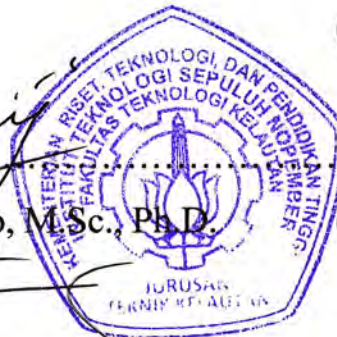
(Pembimbing 1)



2. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.

(Pembimbing 2)





3. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.

(Penguji 1)



4. Dr. Ir. Wahyudi Citrosiswoyo, M.Sc.

(Penguji 2)



SURABAYA, JULI 2016

ANALISIS DAMPAK VARIASI KEDALAMAN AIR TERHADAP PERFORMA *CALM BUOY* UNTUK KONDISI PERAIRAN DANGKAL

Nama Mahasiswa : Rizki Kresna Wibowo
NRP : 4312100057
Jurusan : Teknik Kelautan – FTK ITS
Dosen Pembimbing : Murdjito, M.Sc.Eng.
Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

SPM *CALM Buoy* merupakan sebuah sarana tertambat lepas pantai untuk melakukan proses *loading/unloading* minyak mentah untuk didistribusikan. SPM *CALM Buoy* di Indonesia banyak dioperasikan pada perairan dangkal sebagai penghubung antara kapal tanker dengan terminal transit yang ada di darat. Karakteristik perairan dangkal yang berbeda dengan perairan menengah maupun perairan dalam menyebabkan perlunya dilakukan analisis tentang dampak variasi kedalaman terhadap performa *CALM Buoy*. Hasil analisa gerakan kapal kondisi *free floating* pada kondisi gelombang reguler maupun spektra respon menunjukkan gerakan *surge*, *sway* dan *yaw* dipengaruhi oleh variasi kedalaman, sedangkan *heave*, *roll* dan *pitch* dipengaruhi frekuensi. Untuk *CALM Buoy*, semua gerakan dipengaruhi oleh variasi kedalaman. Hasil analisa kondisi tertambat, diketahui bahwa *tension* pada *mooring line* dan *offset* pada *CALM Buoy* dipengaruhi oleh variasi kedalaman dan tidak terpengaruh oleh gaya dari tarikan kapal. Semakin dalam wilayah perairan, nilai *tension* dan *offset* semakin besar. Pada kedalaman 21 m hingga 42 m menggunakan *pre-tension* sebesar 10% dari MBL, sedangkan pada kedalaman 50 m menggunakan *pre-tension* 15% dari MBL karena *pre-tension* awal yang sebesar 10% sudah tidak mampu mengakomodasi gerakan dari *CALM Buoy*. Hal ini dikarenakan beban gelombang *second order* lebih berpengaruh pada struktur tertambat seperti *CALM Buoy*.

Kata kunci : *CALM Buoy*, *offset*, perairan dangkal, *second order*, *tension*.

THE ANALYSIS OF IMPACT OF DEPTH WATER VARIATION TO THE PERFORMANCE OF *CALM BUOY* FOR SHALLOW WATER CONDITIONS

Name : Rizki Kresna Wibowo
Reg. Number : 4312100057
Department : Ocean Engineering – FTK ITS
Supervisors : Murdjito, M.Sc.Eng.
Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

SPM CALM Buoy is an offshore structure operated to aid loading / unloading crude oil to be distributed. In Indonesia, SPM CALM Buoy was operated in shallow water to bridge between the tanker to transit to fuel terminal on shore. The differences of characteristic for shallow water intermediate and deep water direct to the need for analysis of the impact of depth water variation to the performance of CALM Buoy. Results of motion analysis on ship in free floating condition in regular and random wave shows the surge, sway and yaw are influenced by depth variation, while heave, roll and pitch influenced by wave frequencies. For CALM Buoy, all mode of motion are influenced by the depth variation. Result of analysis for moored condition, indicated that the tension on the mooring line and offset at CALM Buoy influenced by variation in depth and is not affected by tension from the vessel. The deeper the waters, the value of tension and offset are greater. At a depth of 21 m to 42 m the Pre-tension 10% of MBL is used, whereas at a depth of 50 m Pre-tension 15% of MBL is used, because for initial pre-tension by 10% MBL is not able to accommodate the motion of CALM Buoy. It is found that the load of the second order wave have more influence on the moored structure like CALM Buoy.

Keywords : CALM Buoy, offset, second order, shallow water, tension.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv

BAB I PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG MASALAH	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	3
1.3 TUJUAN	3
1.4 MANFAAT	3
1.5 BATASAN MASALAH	4
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.2 DASAR TEORI	8
2.2.1 <i>Shuttle Tanker</i>	8
2.2.2 <i>Mooring Line</i>	9
2.2.3 SPM (<i>Single Point Mooring</i>).....	10
2.2.4 Analisis Respon	10
2.2.5 Analisis Dinamis	11
2.2.6 Teori Dasar Gerakan Bangunan Apung	12
2.2.7 Faktor Non-Linear	13
2.2.7.1 Beban Gelombang <i>Second Order</i>	14
2.2.7.2 Beban Angin	14

2.2.7.3 Beban Arus	15
2.2.8 Perilaku Bangunan Apung Pada Gelombang Reguler	15
2.2.8.1 Teori Gelombang Reguler	15
2.2.8.2 <i>Response Amplitude Operator</i> (RAO)	16
2.2.9 Perilaku Bangunan Laut Pada Gelombang Acak	18
2.2.9.1 Respon Bangunan Apung di Atas Gelombang Acak	18
2.2.9.2 Spektrum Gelombang	19
2.2.10 Penentuan Panjang <i>Mooring Line</i>	21
2.2.11 <i>Tension</i> Pada <i>Mooring Line</i>	22
2.2.12 Orbit Partikel Gelombang	23
2.2.13 <i>Excursion</i>	24
2.2.14 Persamaan Gerak Struktur Tertambat	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.2 PENGUMPULAN DATA.....	31
BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 PEMODELAN KAPAL DAN SPM.....	35
4.2 SKENARIO ANALISIS KARAKTERISTIK GERAK STRUKTUR.....	40
4.2.1 Perhitungan <i>Cemter of Gravity</i> Struktur.....	41
4.2.2 Perhitungan Radius Girasi Struktur.....	41
4.2.3 Skenario Pembebanan.....	43
4.2.4 Skenario Analisis.....	43
4.3 ANALISIS KARAKTERISTIK GERAK STRUKTUR.....	43
4.3.1 Analisis Karakteristik Mengapung Bebas Pada Gelombang Reguler.....	43
4.3.2 Tren Perubahan Nilai Gerakan Berdasarkan <i>kh</i> dan <i>D/T</i>	63
4.4 ANALISIS PERILAKU GERAK KAPAL DAN <i>CALM BUOY</i> PADA GELOMBANG ACAK.....	80
4.4.1 Analisis Spektra Gelombang.....	80
4.4.2 Analisis Perilaku Gerak Kapal dan <i>CALM Buoy</i> Kondisi <i>Free Floating</i> Pada Gelombang Acak.....	80

4.5 PEMODELAN KAPAL DAN <i>CALM BUOY</i> KONDISI	
TERTAMBAT	87
4.6 ANALISIS GAYA TARIK TALI TAMBAT	88
4.6.1 Analisis Gaya Tarik Tali Tambat Kondisi <i>Inline</i>	88
4.6.2 Analisis Gaya Tarik Tali Tambat Kondisi <i>Betweenline</i>	91
4.6.3 Analisa Gaya Tarik <i>Hawser</i>	98
4.6.4 Tren Nilai <i>Tension</i> Terhadap Variasi Kedalaman	101
4.6.4.1 Tren Nilai <i>Tension</i> Kondisi <i>Inline</i>	101
4.6.4.2 Tren Nilai <i>Tension</i> Kondisi <i>Betweenline</i>	102
4.7 EFEK <i>SECOND ORDER</i> PADA <i>TENSION</i> TALI TAMBAT	104
BAB V PENUTUP	
5.1 KESIMPULAN.....	107
5.2 SARAN.....	109
DAFTAR PUSRAKA.....	111
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

BAB I PENDAHULUAN

Gambar 1.1 Proses <i>Offloading</i> Menggunakan SPM <i>CALM BUOY</i> (SBM <i>OFFSHORE</i>)	2
--	---

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Gambar 2.1 SPM <i>CALM Buoy</i> (SBM <i>OFFSHORE</i>)	10
Gambar 2.2 Enam derajat kebebasan pada struktur bangunan apung (Ardhiansyah, 2010)	13
Gambar 2.3 Grafik umum respon bangunan apung (Djarmiko, 2012)	18
Gambar 2.4 Superposisi antara RAO dengan spektra gelombang menjadi spektra respon (Djarmiko, 2012).....	20
Gambar 2.5 Panjang <i>Mooring Line</i>	22
Gambar 2.6 Orbit partikel gelombang di perairan dangkal, menengah dan dalam.....	25
Gambar 2.7 Grafik kombinasi antara <i>wave-frequency</i> dengan <i>low frequency</i> .	26

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian yang dilakukan.....	27
Gambar 3.2 Lokasi #SPM150 <i>CALM Buoy</i> (SOFEC).....	31

BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4.1 Pemodelan Tanker Menggunakan <i>software</i> maxsurf.....	35
Gambar 4.2 Pemodelan <i>CALM Buoy</i> Menggunakan <i>software</i> maxsurf.....	36
Gambar 4.3 Pemodelan Tanker Menggunakan <i>software</i> HydroSTAR.....	37
Gambar 4.4 Pemodelan <i>CALM Buoy</i> Menggunakan <i>software</i> MOSES.....	38
Gambar 4.5 RAO Gerakan <i>Surge</i> Kapal	45
Gambar 4.6 RAO Gerakan <i>Sway</i> Kapal	48
Gambar 4.7 RAO Gerakan <i>Heave</i> Kapal.....	50

Gambar 4.8 RAO Gerakan <i>Roll</i> Kapal.....	52
Gambar 4.9 RAO Gerakan <i>Pitch</i>	54
Gambar 4.10 RAO Gerakan <i>Yaw</i>	57
Gambar 4.11 RAO Gerakan <i>Surge CALM Buoy</i>	58
Gambar 4.12 RAO Gerakan <i>Sway CALM Buoy</i>	59
Gambar 4.13 RAO Gerakan <i>Heave CALM Buoy</i>	60
Gambar 4.14 RAO Gerakan <i>Roll CALM Buoy</i>	61
Gambar 4.15 RAO Gerakan <i>Pitch CALM Buoy</i>	62
Gambar 4.16 RAO Gerakan <i>Yaw CALM Buoy</i>	63
Gambar 4.17 Tren Perubahan Nilai RAO Tertinggi Gerakan <i>Surge</i> Kapal Berdasarkan <i>kh</i> dan <i>D/T</i>	64
Gambar 4.18 Tren Perubahan Nilai RAO Tertinggi Gerakan <i>Sway</i> Kapal Berdasarkan <i>kh</i> dan <i>D/T</i>	66
Gambar 4.19 Tren Perubahan Nilai RAO Tertinggi Gerakan <i>Heave</i> Kapal Berdasarkan <i>kh</i> dan <i>D/T</i>	67
Gambar 4.20 Tren Perubahan Nilai RAO Tertinggi Gerakan <i>Roll</i> Kapal Berdasarkan <i>kh</i> dan <i>D/T</i>	68
Gambar 4.21 Tren Perubahan Nilai RAO Tertinggi Gerakan <i>Pitch</i> Kapal Berdasarkan <i>kh</i> dan <i>D/T</i>	69
Gambar 4.22 Tren Perubahan Nilai RAO Tertinggi Gerakan <i>Yaw</i> Kapal Berdasarkan <i>kh</i> dan <i>D/T</i>	71
Gambar 4.23 Tren Perubahan Nilai RAO Tertinggi Gerakan <i>Surge CALM</i> <i>Buoy</i> Berdasarkan <i>kh</i> dan <i>D/T</i>	72
Gambar 4.24 Tren Perubahan Nilai RAO Tertinggi Gerakan <i>Sway CALM</i> <i>Buoy</i> Berdasarkan <i>kh</i> dan <i>D/T</i>	74
Gambar 4.25 Tren Perubahan Nilai RAO Tertinggi Gerakan <i>Heave CALM</i> <i>Buoy</i> Berdasarkan <i>kh</i> dan <i>D/T</i>	75
Gambar 4.26 Tren Perubahan Nilai RAO Tertinggi Gerakan <i>Roll CALM</i> <i>Buoy</i> Berdasarkan <i>kh</i> dan <i>D/T</i>	76
Gambar 4.27 Tren Perubahan Nilai RAO Tertinggi Gerakan <i>Pitch CALM</i> <i>Buoy</i> Berdasarkan <i>kh</i> dan <i>D/T</i>	78
Gambar 4.28 Tren Perubahan Nilai RAO Tertinggi Gerakan <i>Yaw CALM</i>	

<i>Buoy Berdasarkan kh dan D/T</i>	79
Gambar 4.29 Persamaan Spektra Respon	80
Gambar 4.30 Grafik Spektra respon kapal dalam 6 derajat kebebasan tiap variasi kedalaman.....	82
Gambar 4.31 Konfigurasi <i>Mooring Line</i> dan kapal dalam kondisi <i>Inline</i>	87
Gambar 4.32 Konfigurasi <i>Mooring Line</i> dan kapal dalam kondisi <i>Betweenline</i>	88
Gambar 4.33 <i>Tension Mooring Line</i> 1 Kondisi <i>Inline</i> tiap variasi kedalaman.....	91
Gambar 4.34 <i>Tension Mooring Line</i> 2 Kondisi <i>Betweenline</i> tiap variasi kedalaman.....	94
Gambar 4.35 <i>Tension Mooring Line</i> 3 Kondisi <i>Betweenline</i> tiap variasi kedalaman.....	97
Gambar 4.36 <i>Offset</i> kapal akibat <i>surge drifting force</i> tiap variasi kedalaman	100
Gambar 4.37 Tren <i>Tension Mooring Line</i> 1 kondisi <i>Inline</i>	101
Gambar 4.38 Tren <i>Tension Mooring Line</i> 2 kondisi <i>Betweenline</i>	103
Gambar 4.39 Tren <i>Tension Mooring Line</i> 3 kondisi <i>Betweenline</i>	103

DAFTAR TABEL

BAB II DASAR TEORI

Tabel 2.1 Kriteria <i>safety factor</i> tali tambat	24
---	----

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Tabel 3.1 Data struktur SPM <i>CALM Buoy</i> (PT. Pertamina).....	31
Tabel 3.2 Data struktur <i>Mooring Line</i> (PT. Pertamina).....	31
Tabel 3.3 Data struktur <i>Hawser</i>	31
Tabel 3.4 Data struktur kapal tanker 150.000 DWT (<i>Sister Ship</i>)	32
Tabel 3.5 Data distribusi tinggi gelombang dan <i>Peak Period</i>	33
Tabel 3.6 <i>Wave Return Period</i> (PT. Pertamina, 2008).....	33
Tabel 3.7 <i>Recurring All Direction Wind Speed</i> (PT. Pertamina).....	33

BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 4.1 Hasil validasi model kapal	39
Tabel 4.2 Hasil validasi <i>CALM Buoy</i>	40
Tabel 4.3 Nilai rasio <i>kh</i> dan <i>D/T</i>	41
Tabel 4.4 Nilai signifikan kapal dalam 6 derajat kebebasan dengan variasi kedalaman	86
Tabel 4.5 Nilai Signifikan <i>CALM Buoy</i> dalam 6 derajat kebebasan dengan variasi kedalaman	86
Tabel 4.6 Nilai <i>Tension Mooring Line</i> 1 tiap variasi kedalaman	91
Tabel 4.7 Nilai <i>Tension Mooring Line</i> 2 tiap variasi kedalaman	94
Tabel 4.8 Nilai <i>Tension Mooring Line</i> 3 tiap variasi kedalaman	97
Tabel 4.9 Nilai <i>Tension Hawser</i> tiap variasi kedalaman	98
Tabel 4.10 Nilai <i>Heave CALM Buoy</i> tiap variasi kedalaman	105
Tabel 4.11 Nilai <i>Offset CALM Buoy</i> tiap variasi kedalaman	105
Tabel 4.12 Nilai <i>Roll/Pitch CALM Buoy</i> Tiap variasi kedalaman	105

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A-1 *General Arrangement Tanker and CALM Buoy*

LAMPIRAN A-2 *Center of Gravity Tanker*

LAMPIRAN A-3 Tabel Perhitungan Spektra Respon

LAMPIRAN A-4 Konfigurasi *Mooring Line*

LAMPIRAN A-5 Gaya Tarik *Mooring Line* Kondisi *Inline*

LAMPIRAN A-6 Gaya Tarik *Mooring Line* Kondisi *Betweenline*

LAMPIRAN A-7 Gaya Tarik *Hawser*

LAMPRAN A-8 *Offset Buoy*

LAMPIRAN B-1 Input Tanker Dan *CALM Buoy* Pada HydroSTAR

LAMPIRAN B-2 *Output* RAO Tertinggi Kapal

LAMPIRAN B-3 *Output* RAO Tertinggi *CALM Buoy*

BAB I

PENDAHULUAN

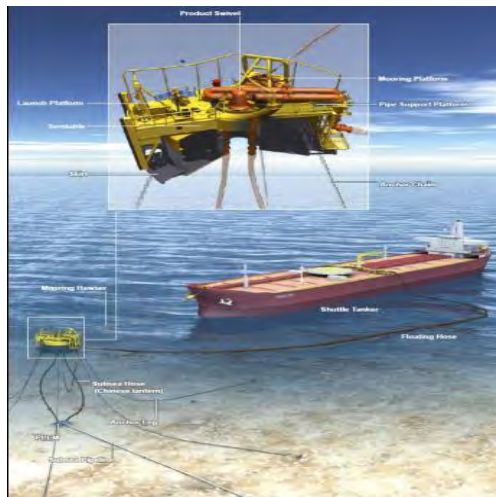
1.1. LATAR BELAKANG MASALAH

Minyak bumi masih menjadi pilihan utama untuk kebutuhan pemenuhan sumber energi mulai dari sebagai bahan bakar kendaraan bermotor, industri dan pembangkit listrik. Kapasitas produksi Indonesia yang hanya mampu memproduksi sekitar 800.000 barel per hari tidak dapat memenuhi kebutuhan akan konsumsi minyak yang mencapai lebih dari 2 juta barel per hari (ESDM, 2015). Hal ini dikarenakan Indonesia hanya mengandalkan produksinya dari sumur-sumur tua di darat peninggalan jaman kolonial. Berdasarkan data dari Kementrian ESDM, Indonesia masih mempunyai cadangan minyak sebesar 320 milyar barel yang terletak di lepas pantai sebelah barat Aceh. Dengan ditemukannya cadangan minyak yang terletak di lepas pantai, diperlukan teknologi eksploitasi lepas pantai untuk dapat memanfaatkan potensi temuan tersebut.

Karena eksploitasi minyak terletak di lepas pantai, maka perlu dibangun sebuah struktur terapung untuk dapat melakukan eksploitasi dan pendistribusian minyak bumi. Terdapat dua cara untuk mendistribusikan minyak bumi, yaitu mengalirkannya melalui pipa bawah laut dan menggunakan kapal tanker. Pendistribusian melalui pipa bawah laut dinilai tidak cukup ekonomis apabila dipasang pada perairan yang cukup dalam karena memerlukan biaya tinggi untuk proses instalasinya, sehingga pendistribusian melalui kapal tanker lebih banyak dipilih karena lebih ekonomis.

Proses pengangkutan minyak bumi dari lokasi pengeboran ke atas kapal tanker disebut dengan *offloading*. Kapal tanker memerlukan kriteria stabilitas selama masa *offloading*, sehingga diperlukan sebuah sistem tambat untuk membatasi gerak dari kapal akibat eksitasi gelombang. Terdapat banyak konfigurasi sistem tambat, diantaranya berupa *spread mooring*, *turret mooring* dan *single point mooring*. Jenis *single point mooring* merupakan sistem tambat yang dapat mengikuti kondisi lingkungan, sehingga kapal tanker dapat bergerak mengikuti arah gelombang tanpa harus menghentikan proses *offloading*.

Salah satu jenis *single point mooring* adalah SBM (*Single Buoy Mooring*) (API RP2 SK, 1996). *Single buoy mooring* adalah jenis *single point mooring* yang menggunakan *buoy* sebagai pelampung yang berguna untuk menambat dan menghubungkan riser dengan kapal tanker seperti yang terlihat pada Gambar 1.1. *Single Buoy Mooring* kebanyakan beroperasi pada perairan yang tidak begitu dalam (*shallow water*) mengingat fungsinya untuk menyalurkan minyak dari kapal ke depo penampungan. *Buoy* yang digunakan untuk sistem tambat sangat berpengaruh pada kekuatan dan kestabilan sistem tambat. Ukuran *buoy* yang digunakan harus sesuai dengan ukuran kapal yang digunakan selama masa *offloading* karena salah respon gerak dari kapal merupakan faktor yang signifikan dalam mempengaruhi stabilitas dari *buoy*.



Gambar 1. 1 Proses *Offloading* Menggunakan SPM CALM Buoy (SBM OFFSHORE)

Lin (2015), melakukan analisa pengaruh variasi kedalaman terhadap respon gerak SPAR pada perairan dalam. Berdasarkan penelitian tersebut, diketahui bahwa variasi kedalaman tidak terlalu berpengaruh terhadap respon gerak struktur yang beroperasi pada perairan dalam (*deep water*) terutama pada gerakan *heave*. Namun energi dari gelombang pada perairan dangkal (*shallow water*) mempunyai efek yang lebih besar terhadap respon struktur dikarenakan energi yang diperoleh dari *surge wave force* (Folley, 2005). Arun (2004), melakukan analisis gerak FPSO pada perairan dangkal, hal tersebut menunjukkan bahwa *surge wave force* dipengaruhi oleh kedalaman perairan.

Berlatar belakang masalah tersebut, dalam Tugas Akhir ini akan dilakukan analisa pengaruh variasi kedalaman terhadap performa CALM Buoy yang dipengaruhi oleh respon gerak kapal pada #SPM150 CALM Buoy yang beroperasi di Terminal Transit Utama (TTU) Tuban. Analisa yang dilakukan yaitu dengan melakukan variasi *non-dimensional water depth (kh)*. Untuk pemodelan dan analisa hidrodinamis menggunakan *software* HydroSTAR, sedangkan untuk analisa *tension*, *offset* dan stabilitas saat kondisi tertambat menggunakan *software* Ariane.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana perilaku gerak CALM Buoy dan kapal tanker pada kondisi *free floating*?
2. Bagaimana pengaruh perbedaan kedalaman terhadap *tension* pada *mooring line* dan *offset* pada Buoy pada kondisi *offloading*?
3. Bagaimana tren pengaruh variasi kedalaman terhadap besarnya *tension* pada *mooring line* pada kondisi *offloading*?

1.3. TUJUAN

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Memperoleh perubahan perilaku gerak CALM Buoy dan kapal tanker pada kondisi *free floating*.
2. Memperoleh pengaruh perbedaan kedalaman terhadap *tension* dan *offset* pada Buoy.
3. Memperoleh tren perubahan *tension* pada *mooring line* dengan variasi kedalaman.

1.4. MANFAAT

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memperoleh pengaruh variasi kedalaman perairan terhadap performa CALM Buoy dan untuk mengetahui tren perubahan pengaruh kedalaman terhadap besarnya *tension* pada *mooring line*.

1.5. BATASAN MASALAH

Batasan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. SPM yang digunakan untuk analisis adalah #SPM150 CALM *Buoy* TTU Tuban.
2. Kapal tanker yang digunakan untuk analisis berkapasitas 150000 DWT.
3. Data *principal dimension* kapal menggunakan pendekatan *sister ship*.
4. Data lingkungan yang digunakan merupakan data lingkungan wilayah Tuban.
5. Riser, PLEM, FLOATING HOSE, SUBSEA HOSE tidak dimodelkan.
6. *Pre-tension* diasumsikan 10% dari MBL.
7. Hawser diasumsikan satu segmen.
8. Nilai *non-dimensional water depth* (kh) : 1.3 - 3.0
9. Nilai rasio D/T : 1.2 - 3.0
10. Struktur menggunakan *rules* dari ABS
11. Struktur bangunan apung dianggap sebagai *rigid body*.
12. Beban yang ditinjau terdiri dari beban angin, beban gelombang dan beban arus.
13. Perhitungan menggunakan spektra gelombang JONSWAP.
14. Analisa hidrodinamis dan stabilitas saat *free floating* menggunakan HydroStar.
15. *Pre-tension mooring line* dan letak *anchor* tetap.
16. Analisa *tension*, *offset* dan stabilitas saat tertambat menggunakan Ariane.
17. Analisa stabilitas tidak dilakukan

1.6. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang ingin dicapai, manfaat yang diperoleh dan ruang lingkup penelitian untuk membatasi analisis yang dilakukan dalam tugas akhir.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Bab ini berisi referensi dan juga teori-teori pendukung yang digunakan untuk acuan atau pedoman dalam menyelesaikan tugas akhir. Referensi tersebut bersumber pada jurnal lokal maupun internasional, literatur, *rules/code* dan juga buku yang berkaitan dengan topik yang dibahas.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan langkah-langkah pengerjaan yang meliputi : identifikasi data, pemodelan struktur, analisis gerakan struktur kapal dan *buoy* pada kondisi terapung bebas, analisis gerakan struktur kapal dan *buoy* pada kondisi tertambat . Dari analisis struktur dalam keadaan tertambat, akan didapat *tension* pada *mooring line*, *offset* dan stabilitas *buoy*. Setelah itu akan dilakukan perbandingan dengan variasikan kedalaman daerah operasi untuk mengetahui pengaruh kedalaman terhadap operabilitas struktur dengan terlebih dahulu dilakukan penyesuaian *pre-tension* sebagai variabel tetap.

BAB IV. ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan mengenai pemodelan struktur, analisis gerakan struktur kondisi terapung bebas, analisis gerakan struktur kondisi saling tertambat, analisis *tension* pada *mooring line*, serta *offset* yang terjadi. Setelah itu akan dibandingkan hasil analisis dengan variasi kedalaman untuk mengetahui pengaruh kedalaman daerah operasi terhadap performa CALM *Buoy*.

BAB V. PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari analisis yang dilakukan pada penelitian ini. Bagian ini juga berisi saran yang bermanfaat guna keberlanjutan penelitian terkait kedepannya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 TINJAUAN PUSTAKA

Dewasa ini permintaan minyak bumi sebagai sumber utama penghasil energi semakin meningkat, sedangkan untuk produksi minyak bumi sendiri semakin menurun akibat usia sumur-sumur minyak di darat sudah cukup tua. Hal tersebut yang melatar belakangi pencarian ladang minyak baru hingga ke lepas pantai. Kegiatan eksploitasi dan eksplorasi di lepas pantai yang berbeda dengan di darat menyebabkan munculnya teknologi baru dalam kegiatan eksplorasi dan eksploitasi minyak bumi.

Dalam kegiatan eksploitasi lepas pantai banyak digunakan struktur terapung berupa *shuttle tanker* untuk menunjang distribusi dari *field* ke tempat pengolahan yang ada di darat. Pemilihan penggunaan kapal tanker ini dipilih karena dianggap lebih murah dari pada harus memasang sistem perpipaan. Selain itu, keunggulan penggunaan kapal tanker sebagai sarana distribusi mempunyai keunggulan lain yaitu kemampuannya yang dapat berpindah lokasi operasi dengan mudah.

Single Point Mooring merupakan sebuah sarana penunjang kegiatan distribusi oleh kapal tanker. Sistem *Single Point Mooring* merupakan sebuah sistem tambat berupa jangkar yang dihubungkan dengan kapal melalui rantai atau tali fiber. Bangunan atas dari sistem *Single Point Mooring* ini dilengkapi dengan sistem *loading/unloading* minyak yang berguna mengalirkan minyak dari sumur ke kapal tanker untuk nantinya didistribusikan ke tempat pengolahan minyak (Sulistiyono, 2006).

Sistem *buoy* yang menjadi salah satu piranti tambahan dari *Single Point Mooring* banyak diaplikasikan dalam pendistribusian minyak bumi. Saat ini penggunaan *buoy* sebagai sarana utama yaitu menjadi terminal dalam pendistribusian dari laut ke darat maupun sebaliknya (Suryanto, 2009). Namun penggunaan *buoy* biasanya diaplikasikan pada perairan dalam (Cozijn, 2004)..

Berdasarkan analisis yang sudah ada, yaitu tentang analisis terhadap SPM *CALM Buoy* yang digunakan dalam operasi pendistribusian minyak bumi masih

sebatas analisa terhadap sistem konfigurasi *mooring line* Mahasin (2013) dan analisa *floater* pada *mooring line* oleh Deny (2011). Selain efek dari gerakan kapal, performa *CALM Buoy* juga dipengaruhi oleh kedalaman perairan (Faltinsen, 1990) dan juga bentuk dari struktur (Dong, 2013). Karakteristik respon gerakan kapal yang ditambat pada perairan dangkal lebih dipengaruhi oleh arus dari pada pengaruh gelombang karena gelombang mengalami pengurangan energi akibat dari pergesekan dengan dasar laut. Analisa pengaruh arus masih sebatas pada uji manuvering pada kapal pada perairan dangkal (Vantorre, 2013) dan pengaruh rasio kedalaman terhadap sarat (D/T), terhadap bentuk haluan (Wichers, 1988).

Dengan adanya analisis yang akan saya lakukan mengenai pengaruh kedalaman terhadap karakteristik gerakan SPM *CALM Buoy* diharapkan dapat mengetahui efek yang terjadi pada sistem tersebut apabila beroperasi pada kedalaman yang berbeda. Analisis yang dilakukan dengan cara memvariasikan kedalaman perairan berdasarkan perkalian antara angka gelombang (k) dengan kedalaman perairan (h) atau yang lebih dikenal dengan *non-dimensional water depth* (kh). Pembagian variasi nilai kh dilakukan dengan cara memilih interval lebih kecil untuk nilai kh awal dan interval besar untuk kh diatas 2. Hal ini didasarkan oleh penelitian dari Folley, (2005) mengenai *surge wave force* yang menunjukkan ketika nilai kh diatas 2, efek dari energi gelombang yang bekerja pada struktur sudah tidak terlalu signifikan.

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 Shuttle Tanker

Shuttle Tanker adalah sebuah fasilitas terapung berupa kapal yang dioperasikan di laut yang berfungsi untuk mendistribusikan hasil pengeboran minyak bumi dari ladang minyak menuju tempat pemrosesan. Sifatnya yang dapat berpindah daerah operasi dengan mudah dan biaya pembuatan yang lebih murah menyebabkan *shuttle tanker* lebih dipilih untuk sarana pendistribusian minyak bumi dari pada melakukan instalasi jalur perpipaan. Lokasi ladang minyak yang berada di lepas pantai dan kondisi lingkungan laut dengan pembebanan yang besar mengakibatkan *shuttle tanker* bergerak tidak stabil dan mengganggu proses

loading atau transfer minyak bumi. Diperlukannya sistem tambat untuk membatasi gerakan dari *shuttle tanker* supaya gerakannya tetap stabil dan tidak mengganggu proses *loading* atau transfer minyak bumi.

2.2.2 Mooring Line

Mooring Line yang digunakan pada *offshore structure* telah diatur dan direkomendasikan oleh API-RP2P (2001) dan API-RP2SK 3rd edition (2005) menjadi 3 katagori, yaitu:

1. Seluruh segmen *Mooring Line* terbuat dari rantai (*Chain*). Sejak lama rantai menjadi pilihan utama pada *offshore operation* dikarenakan rantai memiliki daya tahan yang lebih terhadap abrasi dasar laut dan memiliki kontribusi terhadap daya cengkram jangkar yang sangat signifikan.
2. Seluruh segmen *Mooring Line* terbuat dari tali kabel (*wire rope*). Pada dasarnya *wire rope* ini lebih ringan dari pada rantai, karena itu *wire rope* memiliki *restoring force* yang lebih pada perairan laut dalam dan memerlukan *pretension* (tegangan awal) yang lebih rendah dari pada rantai. Untuk menghindari terangkatnya jangkar pada *wire rope*, maka diperlukan *wire rope* yang lebih panjang dari pada ketika menggunakan rantai. *Wire rope* lebih rentan terhadap serangan korosi, oleh karena itu memerlukan perawatan yang ekstra karena kerusakan mekanik akibat korosi menjadi faktor yang lebih banyak menyebabkan kegagalan.
3. *Mooring Line* kombinasi lebih dari satu segmen *chain* dan *wire rope*. Dengan mengkombinasikan *Mooring Line* menjadi lebih dari satu segmen yaitu *chain* dan *wire rope* maka akan diperoleh keuntungan yaitu: *pretension* yang rendah, *restoring force* yang tinggi, *holding anchor* yang lebih besar dan memiliki daya tahan terhadap abrasi. Keuntungan-keuntungan tersebut membuat *Mooring Line* dengan segmen gabungan sangat cocok untuk diaplikasikan di laut dalam.

2.2.3 SPM (*Single Point Mooring*)

SPM adalah struktur terapung yang terletak di lepas pantai dengan fungsi sebagai penambat kapal dan interkoneksi untuk proses *loading* dan *unloading* tanker. SPM CALM *Buoy* terdiri atas sebuah *buoy* yang ditambat ke dasar laut dengan konfigurasi empat, enam atau delapan *mooring line* secara mandiri atau dapat pula secara *grouping*. *Buoy* tersebut dapat bergerak bebas naik-turun, menyamping, *pitching* dan *rolling*.

Keunggulan sistem tambat ini adalah dapat bergerak sesuai dengan arah pembebanan lingkungan yang bekerja terhadapnya (*weather vaning*). Hal tersebut dianggap penting karena dapat meminimalkan beban lingkungan yang bekerja terhadap struktur tersebut (API RP2SK, 1996).



Gambar 2.1 SPM CALM *Buoy* (SBM OFFSHORE)

2.2.4 Analisis Respon

Kwan (1991) menyatakan, respon gerakan bangunan apung terhadap gerakan frekuensi gelombang dapat diprediksi melalui dua metode yaitu:

1. Analisa Kuasi-Statik

Dalam metode ini beban dari gelombang dinamis dicatat oleh *offset* statis bangunan apung yang didefinisikan oleh gerakan gelombang yang diinduksi, dengan hanya menggunakan gerakan horisontal yang menjadi acuan. Sedangkan beban yang disebabkan oleh gerakan *fairlead* vertikal dan dinamika sistem *mooring line* seperti efek massa, percepatan fluida dan redaman diabaikan.

2. Analisa Dinamis

Analisa dinamis dilakukan dengan memperhitungkan respon dinamis dari tali tambat. Efek variasi waktu akibat massa tali tambat, redaman dan percepatan relatif fluida diikutsertakan. Dalam metode ini, gerakan *fairlead* variasi waktu dihitung dari gerakan *surge*, *sway*, *heave*, *pitch*, *roll* dan *yaw* dari bangunan apung.

2.2.5 Analisis Dinamis

Menurut DnV OS E301 (2004), Analisis simulasi domain pada bangunan lepas pantai dibagi menjadi dua:

1. *Time Domain Analysis*

Time Domain Analysis adalah analisa gerakan dinamis berdasarkan fungsi waktu. Metode yang digunakan dalam pendekatan menggunakan *Time Domain Analysis* prosedur integrasi waktu dan menghasilkan *time history response* yang berdasarkan fungsi waktu $x(t)$. Metode analisa ini pada umumnya seperti program komputer yang dapat digunakan untuk melakukan analisis pada semua situasi tali tambat di bawah pengaruh dinamika frekuensi gelombang. Pada periode awal harus dimaksimalkan untuk meminimalkan efek *transient*, namun metode ini membutuhkan proses lebih kompleks dan waktu yang lebih lama. Pada analisis *Time Domain Analysis* membutuhkan simulasi *time history* yang akan memberikan hasil *tension* maksimum, beban jangkar, dan lain-lain.

2. *Frequency Domain Analysis*

Frequency Domain Analysis adalah simulasi kejadian pada saat tertentu dengan interval frekuensi yang telah ditentukan. Metode analisa ini dapat digunakan untuk memperkirakan respon gelombang acak, seperti gerakan dan percepatan *platform*, gaya tendon dan sudut. Keuntungan dari penggunaan metode ini adalah tidak membutuhkan banyak data dalam proses perhitungannya. Sedangkan kekurangan menggunakan metode ini adalah harus menggunakan persamaan linier sehingga semua persamaan linier harus dilinierkan.

Pada *Frequency Domain Analysis*, keseimbangan dinamik dari sistem *linear* dapat diformulasikan dengan Pers. (2.1).

$$M_{(\omega)} \ddot{r} + C_{(\omega)} \dot{r} + K_{(\omega)} r = X e^{i\omega t} \quad (2.1)$$

dengan:

$M_{(\omega)}$ = matrik massa fungsi frekuensi (ton)

$C_{(\omega)}$ = matrik damping fungsi frekuensi (ton/s)

$K_{(\omega)}$ = matrik kekakuan fungsi frekuensi (kN/m)

X = vektor beban kompleks memberikan informasi pada amplitudo beban

dan fase pada semua derajat kebebasan. Pola $e^{i\omega t}$ menetapkan variasi harmonik dari contoh beban dengan frekuensi ω .

r = vektor *displacement* (m)

2.2.6 Teori Dasar Gerakan Bangunan Apung

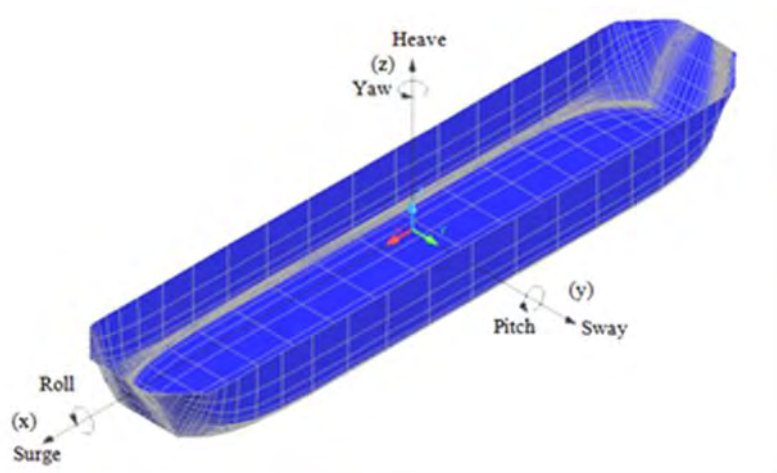
Struktur bangunan apung memiliki 6 *Six Degree Of Freedom* (SDOF) yang terbagi menjadi dua kelompok, yaitu gerakan translasional dan gerakan rotasional. Keenam gerakan tersebut adalah:

1. Gerak Translasional
 - a. *Surge*, gerakan translasional arah sumbu x
 - b. *Sway*, gerakan translasional arah sumbu y
 - c. *Heave*, gerakan translasional arah sumbu z

2. Gerak Rotasional

- a. *Roll*, gerak rotasional arah sumbu x
- b. *Pitch*, gerak rotasional arah sumbu y
- c. *Yaw*, gerak rotasional arah sumbu z

Dengan memakai konversi sumbu tangan kanan, tiga gerakan translasi pada arah sumbu x, y dan z adalah masing-masing *surge* (ζ_1), *sway* (ζ_2) dan *heave* (ζ_3), sedangkan untuk gerakan rotasi terhadap ketiga sumbu adalah *roll* (ζ_4), *pitch* (ζ_5) dan *yaw* (ζ_6).



Gambar 2.2 Enam derajat kebebasan pada struktur bangunan apung (Ardhiansyah, 2010)

2.2.7 Faktor Non-Linear

Dalam analisis struktur patut mempertimbangkan faktor-faktor non linear untuk dapat menggambarkan kondisi yang hampir mendekati kondisi nyata. Faktor-faktor non linear tersebut antara lain:

2.2.7.1 Beban Gelombang *Second Order*

Pengaruh dari beban gelombang *second order* akan sangat signifikan terutama pada struktur apung yang tertambat. Pada gelombang reguler, cara paling mudah mendefinisikan pengaruh non linier adalah dengan persamaan Bernoulli (Faltinsen, 1990). Hasil dari persamaan Bernoulli tersebut dapat diklasifikasikan menjadi tiga komponen penyusun yaitu *mean wave*, beban osilasi variasi frekuensi dan beban osilasi dari penjumlahan frekuensi yang akan mendeskripsikan spektrum gelombang.

2.2.7.2 Beban Angin

Beban angin merupakan beban dinamis dimana pada kebanyakan struktur akan meresponnya pada model statis yang paling mendekati. Pada perancangan struktur bangunan lepas pantai, perhitungan beban angin berdasarkan besarnya kecepatan ekstrim dengan periode ulang 50 atau 100 tahunan. Berdasarkan OCIMF (1997) *Mooring Equipment Guidkines*, perhitungan beban angin didefinisikan sebagai berikut:

Longitudinal wind force

$$F_{xw} = C_{xw} \left(\frac{\rho_w}{7600} \right) V_w^2 A_T \quad (2.2)$$

Lateral wind force

$$F_{yw} = C_{yw} \left(\frac{\rho_w}{7600} \right) V_w^2 A_L \quad (2.3)$$

dengan,

F_{xw} = gaya angin longitudinal (kN)

F_{yw} = gaya angin lateral (kN)

C_{xw} = koefisien gaya angin longitudinal non dimensional

C_{yw} = koefisien gaya angin transfersal non dimensional

ρ_w = densiti udara = 1.223 Kg/m³ pada 20⁰ C

V_w = kecepatan angin pada ketinggian 10m (knot)

A_T = luas penampang transfersal diatas air (m²)

A_L = luas penampang longitudinal diatas air (m²)

2.2.7.3 Beban Arus

Selain beban gelombang dan beban angin, beban arus memberikan gaya terhadap struktur bangunan laut. Arus akibat pasang surut memiliki kecepatan yang semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman sesuai dengan fungsi *non linear*. Untuk arus yang disebabkan oleh angin memiliki karakter yang sama hanya saja memiliki fungsi linear. Arus permukaan di sekitar kapal dibangkitkan dari angin lokal, pasang surut, *stokes drift*, massa jenis arus lokal, dan fenomena *set-up* (Faltinsen, 1990). Berdasarkan OCIMF (1997) *Mooring Equipment Guidkines*, perhitungan beban arus didefinisikan sebagai berikut :

Longitudinal current force

$$F_{xc} = C_{xc} \left(\frac{\rho_c}{7600} \right) V_c^2 T L_{BP} \quad (2.4)$$

Lateral current force

$$F_{yc} = C_{yc} \left(\frac{\rho_c}{7600} \right) V_c^2 T L_{BP} \quad (2.5)$$

dengan,

F_{xc} = gaya arus longitudinal (kN)

F_{yc} = gaya arus lateral (kN)

C_{xc} = koefisien gaya arus longitudinal non dimensional

C_{yc} = koefisien gaya arus transfersal non dimensional

ρ_c = densiti air laut = 1025 Kg/m³ pada 20° C

V_c = kecepatan arus pada ketinggian 10 m (knot)

T = draft kapal (m)

L_{BP} = *length between perpendicular* (m)

2.2.8 Perilaku Bangunan Apung Pada Gelombang Reguler

2.2.8.1 Teori Gelombang Reguler

Teori gelombang Airy adalah teori gelombang yang banyak digunakan untuk menghitung beban gelombang yang terjadi pada struktur. Teori gelombang Airy adalah teori gelombang amplitudo kecil, yang mengasumsikan bahwa tinggi gelombang sangat kecil dibandingkan dengan panjang gelombang atau kedalaman laut. pada teori gelombang Airy, periode gelombang diasumsikan sebagai variabel konstan yang tidak berubah terhadap waktu. Adapun persamaan-persamaan yang dari teori gelombang Airy adalah sebagai berikut :

- Kecepatan potensial (ϕ)

$$\phi = \frac{gA}{\omega} \frac{\cosh k(z+d)}{\cosh kd} \sin(kx - \omega t) \quad (2.6)$$

- Kecepatan fluida (v_z)

$$v_z = -A\omega \frac{\sinh(kz-kd)}{\sinh(kd)} \sin(\omega t - k.x) \quad (2.7)$$

- Percepatan fluida (a_z)

$$a_z = -A\omega^2 \frac{k \sinh(kz+kd)}{\sinh(kd)} \cos(\omega t - k.x) \quad (2.8)$$

dengan,

A = amplitudo gelombang

ω = frekuensi alami gelombang

k = nomor gelombang

d = kedalaman laut

2.2.8.2 Response Amplitude Operator (RAO)

Response Amplitude Operator (RAO) merupakan fungsi respon yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi tertentu yang mengenai struktur. RAO merupakan suatu alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerak dinamis struktur. Pada RAO, terdapat informasi tentang karakteristik gerakan struktur yang disajikan dalam bentuk grafik dimana pada absis merupakan parameter frekuensi, sedangkan pada ordinat adalah rasio amplitudo gerakan pada mode tertentu ζ_{k0} , dengan amplitudo gelombang, ζ_0 . Menurut Chakrabarti (1987), persamaan RAO dapat dicari dengan rumus:

$$RAO(\omega) = \frac{\zeta_{k0}(\omega)}{\zeta_0(\omega)} \quad (\text{m/m}) \quad (2.9)$$

dengan:

$\zeta_{k0}(\omega)$ = amplitudo struktur (m)

$\zeta_0(\omega)$ = amplitudo gelombang (m)

K = 1, 2, 3 untuk *surge, sway, roll*

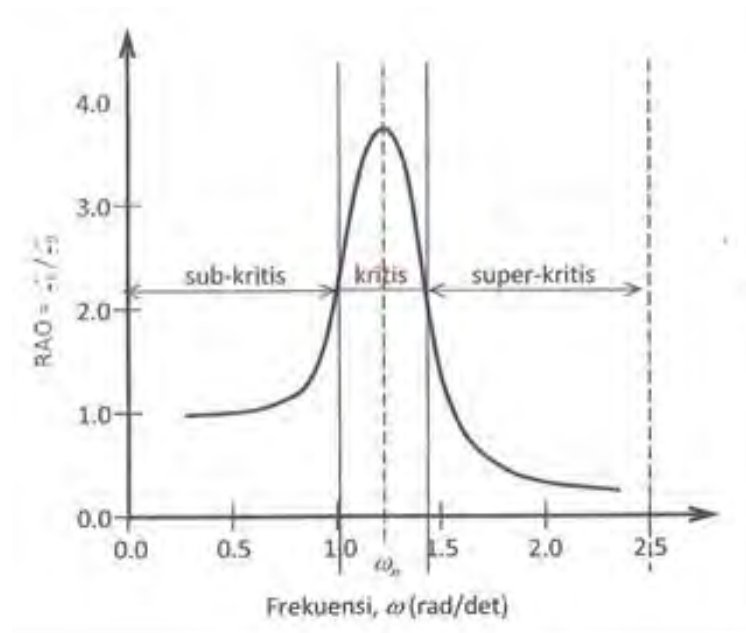
Respons gerakan RAO untuk gerak translasi (*surge, sway, heave*) merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan dibanding dengan amplitudo

gelombang insiden (dalam satuan panjang) (Djtmiko, 2012). Persamaan RAO untuk gerakan translasi sama dengan persamaan 2.2 di atas.

Untuk respons gerakan RAO untuk gerakan rotasi (*roll, pitch, yaw*) merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) dengan kemiringan gelombang, yang merupakan perkalian antara gelombang ($k_w = \omega^2/g$) dengan amplitudo gelombang insiden (Djtmiko, 2012):

$$RAO(\omega) = \frac{\zeta_{k0}(\omega)}{\zeta_0(\omega)} = \frac{\zeta_{k0}}{(\omega^2/g)\zeta_0} \text{ (rad/rad)} \quad (2.10)$$

$K = 4, 5, 6$ untuk *roll, pitch, yaw*



Gambar 2.3 Grafik umum respon bangunan apung (Djtmiko, 2012)

Kurva respon bangunan apung di atas dibagi menjadi tiga bagian:

- Frekuensi rendah atau gelombang dengan periode panjang yang disebut daerah sub-kritis. Di daerah ini bangunan laut akan bergerak mengikuti elevasi gelombang sehingga amplitudo gerakan akan ekuivalen dengan amplitudo gelombang atau disebut dengan *contouring*. Dalam korelasi persamaan hidrodinamis, di daerah frekuensi rendah, atau $\omega^2 < k/(m+a)$, gerakan akan didominasi oleh faktor kekakuan.

- Daerah kritis, yaitu meliputi wilayah pertengahan kurva di sisi frekuensi rendah sampai dengan puncak kurva dan diteruskan hingga pertengahan kurva di sisi frekuensi tinggi. Puncak kurva terdapat pada frekuensi alami yang merupakan daerah resonansi sehingga respon gerak mengalami magnifikasi, atau amplitudo gerakan akan lebih besar dari pada amplitudo gelombang. Di daerah frekuensi alami, yakni $k/(m+a) < \omega^2 < k/a$, gerakan akan didominasi oleh faktor redaman.
- Daerah super kritis, yaitu daerah dengan frekuensi tinggi dimana terdapat gelombang dengan periode pendek. Pada daerah ini respon bangunan apung terhadap gelombang akan semakin mengecil karena semakin rapat puncak-puncak gelombang, maka akan memberikan efek seperti bangunan laut bergerak di atas air yang relatif datar. Dalam hal korelasi hidrodinamis, gerakan di daerah frekuensi tinggi ini, dimana $\omega^2 < k/a$, gerakan akan didominasi oleh faktor massa (Djarmiko, 2012).

2.2.9 Perilaku Bangunan Luat Pada Gelombang Acak

2.2.9.1 Respon Bangunan Apung di Atas Gelombang Acak

Respon bangunan apung akibat eksitasi gelombang acak pertama kali dikenalkan oleh St. Denis dan Pierson (1953). Gerakan bangunan apung pada kondisi yang ideal dapat dihitung sebagai reaksi dari adanya eksitasi gelombang sinusoidal dengan karakteristik tinggi atau amplitudo dan frekuensi tertentu. Kemudian perhitungan dilakukan dengan mengambil gelombang dengan amplitudo yang konstan namun dengan harga frekuensi yang divariasikan dengan interval kenaikan tertentu.

Gelombang acak adalah superposisi dari komponen pembentuknya yang berupa gelombang sinusoidal dalam jumlah yang tak hingga. Tiap komponen gelombang memiliki tingkat energi tertentu yang dikontribusikan kemudian secara keseluruhan diakumulasikan dalam bentuk spektrum energi (Djarmiko, 2012)

Pada analisis respon bangunan apung di atas gelombang reguler dapat diketahui pengaruh hidrodinamik pada massa tambah, *potential damping* dan gaya-gaya eksternal. Analisa-analisa tersebut dapat menghasilkan respon struktur yang terjadi pada gelombang reguler. Respon struktur pada gelombang acak dapat

dilakukan dengan cara mentransformasikan spektrum gelombang menjadi spektrum respon dimana spektrum respon dapat didefinisikan sebagai respon kerapatan energi pada struktur akibat gelombang. Hal ini dapat dilakukan dengan mengalikan harga pangkat kuadrat dari *Response Amplitude Operator* (RAO) dengan spektrum gelombang pada daerah struktur bangunan apung tersebut akan beroperasi. Persamaan dari respon struktur secara matematis dapat dituliskan:

$$S_R = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \quad (2.11)$$

dengan :

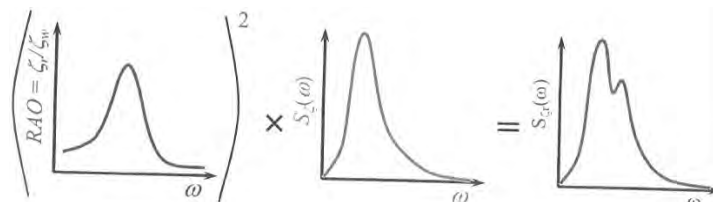
S_R = spektrum respons (m^2 -sec)

$S(\omega)$ = spektrum gelombang (m^2 -sec)

$RAO(\omega)$ = transfer function

ω = frekuensi gelombang (rad/sec)

$RAO^2 \times \text{Wave Spectrum} = \text{Response Spectrum}$
--



Gambar 2.4 Superposisi antara RAO dengan spektra gelombang menjadi spektra respon (Djarmiko, 2012)

2.2.9.2 Spektrum Gelombang

Pemilihan spektrum energi gelombang yang akan digunakan dalam proses analisa harus disesuaikan dengan lokasi dimana struktur tersebut akan beroperasi. Apabila suatu wilayah tersebut tidak memiliki catatan spektrum energi gelombang, maka dapat menggunakan model spektrum yang dikeluarkan oleh berbagai institusi dengan mempertimbangkan kesamaan fisik lingkungan.

Dalam analisis spektrum energi gelombang dapat menggunakan beberapa teori yang telah ada sebelumnya antara lain spektrum JONSWAP, ISSC, ITTC, *Pierson-Moskowitz*, Bretsneider dan lain-lain. Model matematik spektrum

didasarkan pada lebih dari satu parameter yaitu tinggi gelombang signifikan, periode gelombang, faktor permukaan dan lain-lain.

Model spektra yang banyak digunakan adalah model spektra yang diajukan oleh Pierson Morkowitz (1964). Aplikasi dari satu parameter spektrum gelombang *Pierson-Moskowitz* dibatasi oleh kondisi laut *fully developed* dan juga dibatasi oleh *fetch*. Setelah itu, mulai banyak teori spektra untuk berbagai macam tipe perairan dengan batasan *fetch* tertentu seperti spektra *Joint North Sea Wve Project* atau lebih dikenal sebagai spektra JONSWAP.

Pada Tugas Akhir kali ini akan menggunakan spektra JONSWAP dimana spektra ini merupakan proyek yang dilakukan pada perairan *North Sea*. Menurut DNV RP-C205 (2010), formulasi spektrum JONSWAP merupakan modifikasi dari spektrum *Pierson-Moskowitz*. Pemilihan Spektra JONSWAP karena karakteristik perairan di *North Sea* relatif sama dengan perairan dimana penulis akan melakukan analisa yaitu di perairan Indonesia karena sama-sama merupakan perairan tertutup dengan terlebih dahulu melakukan modifikasi pada nilai γ .

Kriteria yang ada di DNV RP-C205, bahwa spektrum JONSWAP dapat diaplikasikan untuk perairan dengan :

$$3.6 < T_p / (H_s)^{1/2} < 5 \quad (2.12)$$

Berikut adalah persamaan spektrum JONSWAP (DNV RP-C205, 2010) :

$$S_j(\omega) = A_\gamma S_{pm}(\omega) \gamma^{\exp(-0.5(\frac{\omega-\omega_p}{\sigma\omega_p})^2)} \quad (2.13)$$

dengan :

$$A_\gamma = \text{normalizing factor} = 1 - 0.287 \ln(\gamma)$$

$$\gamma = \text{peakedness parameter}$$

(Djatkiko, 2012) Untuk perairan Indonesia , $\gamma = 2.0 - 2.5$

$$\sigma = \text{spectral width parameter}$$

$$= 0,07 \text{ jika } \omega \leq \omega_p$$

$$= 0,09 \text{ jika } \omega > \omega_p$$

$$\omega_p = \text{angular spectral peak frequency (rad/s)}$$

$$= 2\pi / T_p$$

ω = wave frequency (rad/s)

$S_{PM}(\omega)$ = spektrum *Pierson-Moskowitz*, dengan persamaan :

$$S_{PM}(\omega) = \frac{5}{16} \cdot H_s^2 \cdot \omega_p^2 \cdot \omega^{-5} \exp\left(-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^4\right) \quad (2.14)$$

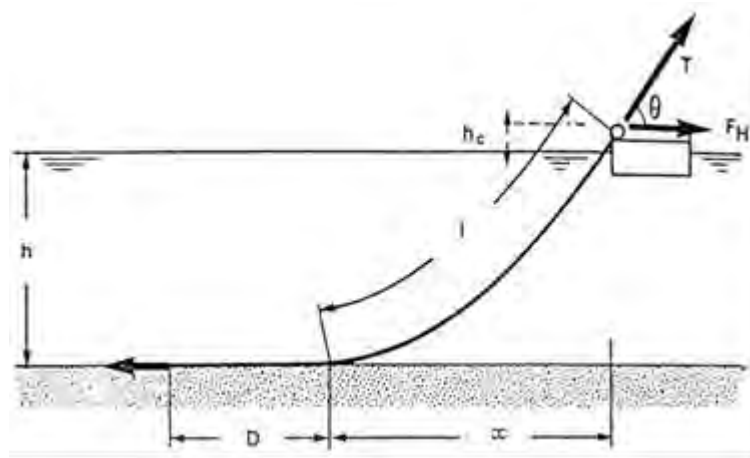
dengan :

H_s = tinggi gelombang signifikan (m)

T_p = periode puncak (s)

2.2.10 Penentuan Panjang *Mooring Line*

Penentuan panjang *mooring line* berguna untuk membatasi gerakan dari struktur bangunan apung. Selain itu, penentuan panjang *mooring line* yang sesuai juga berpengaruh pada *pretension* yang ada pada *mooring line* seerti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Panjang *Mooring Line* (Faltinsen, 1990)

Berikut adalah penentuan panjang minimum dari *mooring line* (*basic equation*).

$$\frac{l}{h} = \sqrt{\frac{2 F_H}{w h}} + 1 \quad (2.15)$$

atau

$$\frac{l}{h} = \sqrt{\frac{2 T}{w h}} - 1 \quad (2.16)$$

dengan :

l = panjang minimum tali tambat

h = jarak vertical dari *fairlead* ke *seabed* = $h_m + h_c$

h_m = kedalaman air

h_c = tinggi *fairlead* di atas permukaan air

w = berat tali tambat di dalam air per satuan panjang

F_H = horizontal *pre-tension* = 10% MBL

T = *tension* maksimum dari tali tambat (*pre-tension*)

D = *length resting on the seabed* (panjang tali tambat yang menempel pada *seabed*)

Harga D dapat diasumsikan berdasarkan tipe dari tali tambat, yaitu:

- 200 s/d 300 m untuk tali tambat yang memiliki konfigurasi *wire rope anchor lines*.
- 50 s/d 100 m untuk tali tambat yang memiliki konfigurasi *chain anchor lines*.

2.2.11 Tension Pada Mooring Line

Gerakan yang terjadi pada bangunan apung mengakibatkan adanya tarikan pada tali tambat. Tarikan atau *tension* pada *mooring line* dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu:

a. Mean Tension

Mean Tension adalah *tension* pada *mooring line* yang berkaitan dengan *mean offset* pada *vessel*.

b. Maximum Tension

Mean tension yang mendapat pengaruh dari kombinasi frekuensi gelombang dan *low-frequency tension*.

Menurut Faltinsen (1990), perhitungan *tension* maksimum tali tambat dapat menggunakan persamaan:

$$T_{max} = T_H + wh \quad (2.17)$$

dengan :

T_{max} = *tension* maksimum tali tambat (ton)

T_H = horizontal *pre-tension* (ton)

w = berat *chain* di air (ton/m)

h = kedalaman perairan (m)

Sebuah desain harus benar-benar aman agar dapat beroperasi, untuk itu dilakukan pengecekan terlebih dahulu untuk dapat menentukan apakah sebuah struktur dikatakan layak operasi. Pengecekan dapat didasarkan pada nilai *tension* yang dihasilkan pada masing-masing tali tambat. Nilai *tension* tersebut haruslah memenuhi *safety factor* yang dikeluarkan oleh suatu institusi. *Rule* yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah mengacu pada API RP 2SK (2005) dengan kriteria sebagai mana ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kriteria *Safety Factor* tali tambat

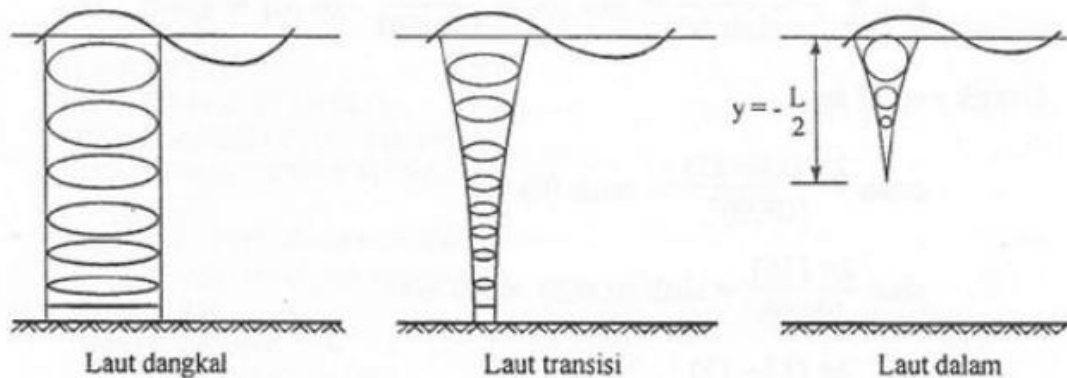
Condition	Safety Factor
Intact (ULS)	> 1.67
Damaged (ALS)	> 1.25

Dengan persamaan *safety factor* menurut API RP 2SK adalah:

$$Safety\ Factor = \frac{Minimum\ Breaking\ Load}{Maximum\ Tension} \quad (2.18)$$

2.2.12 Orbit Partikel Gelombang

Karakteristik perairan memiliki perbedaan berdasarkan kedalamannya, hal ini dibuktikan dengan teori Orbit Partikel Gelombang (Djarmiko, 2012). Orbit Partikel Gelombang ini memiliki bentuk elips untuk perairan dangkal dan perairan menengah, sedangkan untuk perairan dangkal memiliki bentuk lingkaran. Untuk perairan dangkal dan menengah, semakin ke bawah bentuk dari orbitalnya akan semakin pipih hingga ke dasar perairan. Sedangkan untuk perairan dalam orbitalnya tidak sampai ke dasar perairan.



Gambar 2.6 Orbit partikel gelombang di perairan dangkal, menengah dan dalam

Penentuan klasifikasi laut dangkal, transisi dan laut dalam didasari oleh perbandingan panjang gelombang dengan kedalaman, termasuk laut dangkal apabila $\lambda/2 < 50$ (Soejono, 2016). Folley (2005), menentukan klasifikasi laut dangkal dengan parameter lingkungan yaitu apabila angka gelombang (k) dikalikan dengan kedalaman (h) memiliki nilai kurang dari atau sama dengan 3.

2.2.13 Excursion

Excursion atau yang biasa disebut dengan *offset* adalah perpindahan posisi struktur terapung pada bidang datar sumbu x - y ketika terkena beban lingkungan. *Offset* dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Mean Offset

Mean Offset adalah perpindahan rata-rata struktur terapung akibat dari kombinasi beban lingkungan (beban gelombang, beban arus dan beban angin).

2. Maximum Offset

Maximum Offset adalah *mean offset* yang ditambah dengan maksimum *displacement* kombinasi antara *wave-frequency* dengan *low frequency*.

Offset maksimum dapat ditentukan dengan persamaan 2.19 dan 2.20 :

$$1. S_{max} = S_{mean} + S_{lfmax} + S_{wfsig} \quad (2.19)$$

$$2. S_{max} = S_{mean} + S_{wfmax} + S_{lfsig} \quad (2.20)$$

dimana :

S_{mean} = mean vessel offset

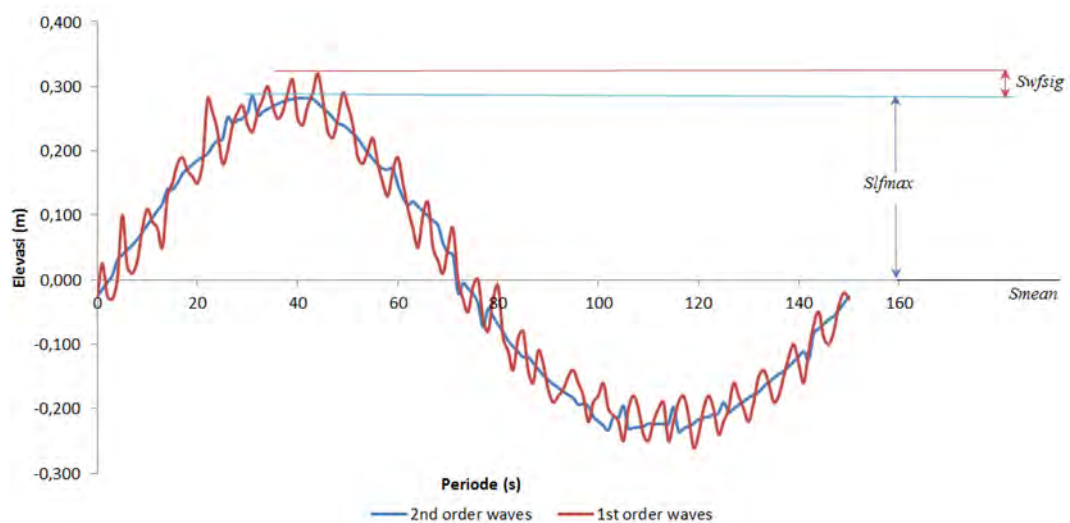
S_{max} = maximum vessel offset

S_{wfmax} = maximum wave frequency motion

S_{wfsig} = significant wave frequency motion

S_{lfmax} = maximum low-frequency motion

S_{lfsig} = significant low-frequency motion



Gambar 2.7 Grafik kombinasi *wave-frequency* dengan *low-frequency*

Gambar 2.7 menunjukkan kombinasi antara *wave-frequency* dengan *low-frequency* yang menyebabkan terjadinya *offset* pada struktur terapung. Batasan *offset maximum* pada struktur terapung dibatasi berdasarkan parameter-parameter tertentu seperti penggunaan jenis *riser*.

2.2.14 Persamaan Gerak Struktur Tertambat

Gerakan pada struktur terapung pada kondisi tertambat dapat dianggap sebagai gerakan *first order high frequency* dan gerakan *second order low frequency* yang dibagi secara terpisah. Persamaan gerak dari *wave frequency* (Liu, 1987) untuk FPSO adalah:

$$(M_{ij} + \mu_{ij}) \ddot{x}_j^{(1)} + \int_0^\infty K_{ij}(\tau) \dot{x}_j^{(1)}(t - \tau) d\tau + C_{ij} \dot{x}_j^{(1)} = F_i^{moor} + F_i^{wave(1)} \quad (2.21)$$

$$i = 1, 2, \dots, 6, j = 1, 2, \dots, 6$$

dimana:

$$x_i^{(1)} = \text{wave frequency motion}$$

$$F^{wave(1)} = \text{first order wave force}$$

$$F^{moor} = \text{mooring force}$$

$$M = \text{inertia matrix FPSO}$$

Persamaan dari *low frequency motion* dari FPSO menurut (Wichers, 1988) adalah:

$$(m + \mu_{11}) \ddot{x}_1^{(2)} + \mu_{12} \ddot{x}_2^{(2)} + \mu_{16} \ddot{x}_6^{(2)} + (B_{11} + B_{wdd}) \dot{x}_1^{(2)} = F_1^{wind} + F_1^{current} + F_1^{wave(2)} + F_1^{moor} \quad (2.22)$$

$$\mu_{21} \ddot{x}_1^{(2)} + (m + \mu_{22}) \ddot{x}_2^{(2)} + \mu_{26} \ddot{x}_6^{(2)} + B_{22} \dot{x}_2^{(2)} = F_2^{wind} + F_2^{current} + F_2^{wave(2)} + F_2^{moor} \quad (2.23)$$

$$\mu_{61} \ddot{x}_1^{(2)} + \mu_{62} \ddot{x}_2^{(2)} + (I + \mu_{66}) \ddot{x}_6^{(2)} + B_{66} \dot{x}_6^{(2)} = F_6^{wind} + F_6^{current} + F_6^{wave(2)} + F_6^{moor} \quad (2.24)$$

dimana:

$$x^{(2)} = \text{low frequency motion}$$

$$B_{11}, B_{22}, B_{33} = \text{koefisien damping}$$

$$B_{wdd} = \text{koefisien wave drift damping arah sumbu-x}$$

$$F_i^{current} = \text{current force}$$

$$F_i^{wind} = \text{wind force}$$

$$F_i^{moor} = \text{mooring force}$$

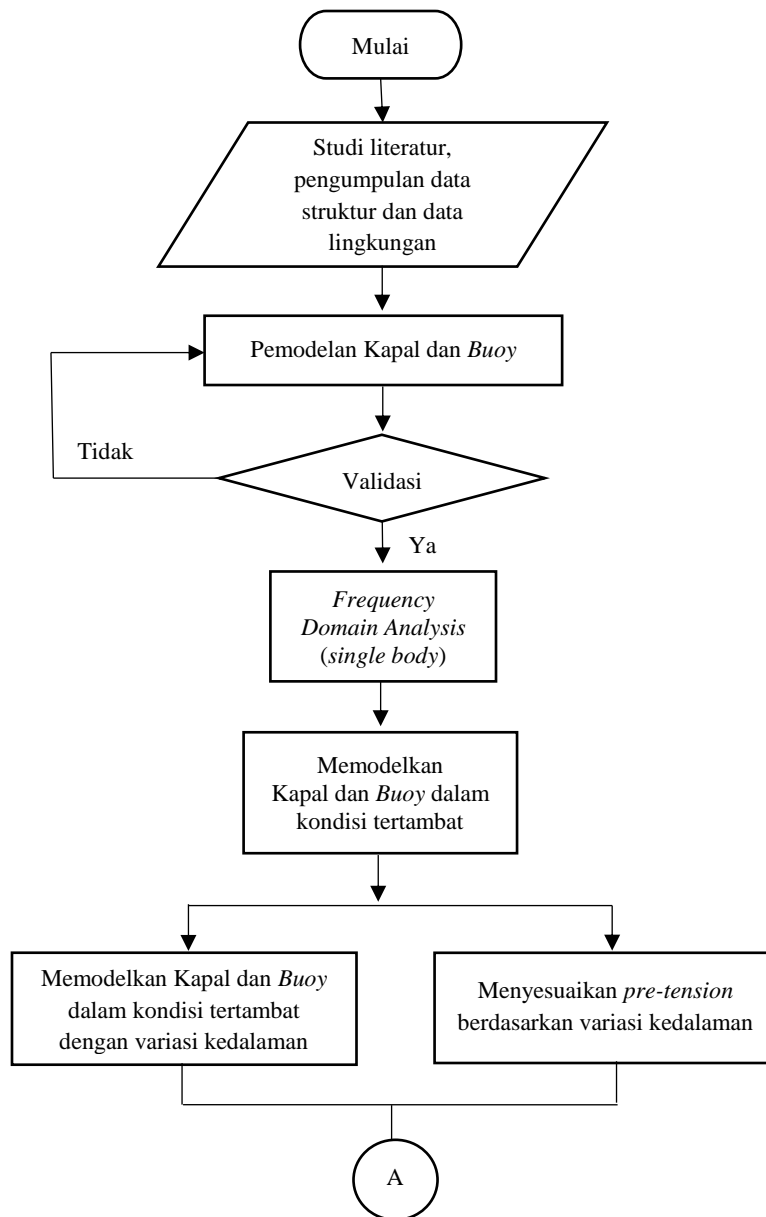
$$F_i^{wave(2)} = \text{second order wave drift force}$$

BAB III

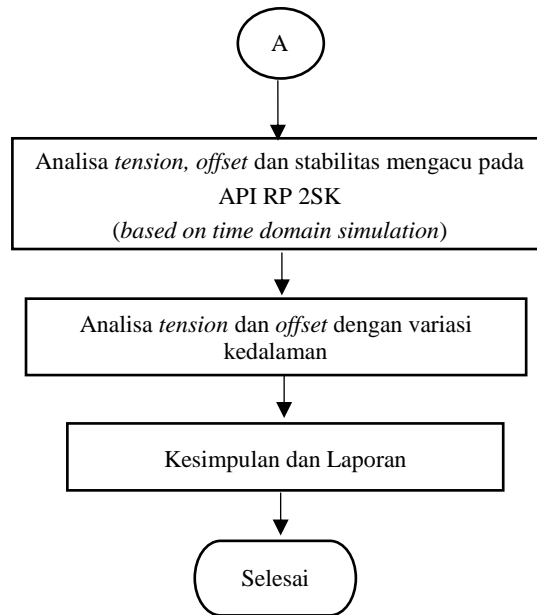
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian yang digunakan pada Tugas Akhir ini dapat dilihat pada diagram alir di bawah ini:



Gambar 3.1 Flow Chart Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3.1 Flow Chart Pengerjaan Tugas Akhir (Lanjutan)

Langkah-langkah penelitian dalam diagram alir pada Metodologi Penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari pengaruh gerakan struktur pada perairan dangkal. Untuk mengetahui pengaruh kedalaman terhadap respon gerak struktur, dilakukan dengan mempelajari berbagai bahan acuan lain seperti mempelajari jurnal-jurnal dan penelitian terkait, buku dan referensi lain seperti Tugas Akhir. Dalam Tugas Akhir ini, data-data seperti *principal dimension* dari buoy serta data lingkungan seperti data angin dan data arus diperoleh dari PT. Pertamina. Hal penting lain yang ingin dijelaskan pada bab ini adalah menentukan arah pembebanan lingkungan yang akan digunakan sebagai input dalam analisis.

2. Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur kapal dan *buoy* dalam Tugas Akhir ini dilakukan dengan bantuan *software* HydroSTAR. Selain untuk memodelkan struktur, *software* HydroSTAR juga digunakan untuk mencari respon gerak dalam kondisi *free floating*. *Software* kedua yang digunakan adalah Ariane, digunakan untuk mencari *tension* pada tali tambat dan juga untuk mengetahui respon struktur akibat eksitasi gelombang setelah ditambat dengan *mooring line*.

3. Validasi Model

Model struktur yang sudah dimodelkan kemudian divalidasi dengan data struktur yang ada di lapangan. Validasi dilakukan untuk mencocokkan kesesuaian model dengan kondisi sebenarnya. Untuk validasi model dilakukan analisis hidrostatis dengan bantuan *software* HydroSTAR hingga sesuai dengan kriteria ABS.

4. Analisis Dinamis Berbasis frekuensi (*Frequency Domain Analysis*) *Single Body*

Setelah validasi model dilakukan dan hasilnya mendekati data lapangan, langkah selanjutnya adalah melakukan *frequency domain analysis* pada Kapal dan *Buoy* pada kondisi terapung bebas (*free floating*) hal ini dilakukan untuk mengetahui RAO dari kedua struktur tersebut saat kondisi terapung bebas.

5. Pemodelan Kapal Tertambat Dengan *Buoy*

Pada tahap ini dilakukan pemodelan Kapal tertambat dengan *Buoy*. Sistem tambat yang digunakan adalah *Catenary Anchor Leg Mooring*. Konfigurasi dan spesifikasi dari *mooring line* dimodelkan sesuai dengan data yang sudah ada. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan *software* Ariane.

6. Memodelkan Kapal dan *Buoy* Dalam Kondisi Tertambat Dengan Variasi Kedalaman

Pada tahap ini dilakukan pemodelan Kapal dan *Buoy* dengan variasi kedalaman untuk nantinya dilakukan analisis pengaruh kedalaman terhadap struktur.

7. Menyesuaikan *Pre-tension* Berdasarkan Variasi Kedalaman

Penyesuaian *pre-tension* dilakukan pada setiap variasi kedalaman karena apabila terjadi perubahan kedalaman namun panjang *mooring line* tetap, maka *pre-tension* akan berubah. Penyesuaian dilakukan agar dalam analisa memiliki variabel tetap.

8. Analisis Mooring Berbasis Time Domain Simulation

Analisis *mooring* (sistem tambat) yang dilakukan pada Tugas Akhir ini adalah menghitung besarnya nilai *tension* pada setiap tali tambat yang digunakan pada *Buoy*. Kemudian dari nilai *tension* masing-masing tali tambat tersebut akan didapatkan nilai *tension* terbesar yang nantinya akan digunakan untuk pengecekan apakah aman atau tidak, sesuai dengan *safety factor* yang mengacu pada API RP 2SK.

Analisis yang dilakukan pada tahap ini berbasis *time domain*. Yang artinya bahwa analisis yang dilakukan akan menghasilkan besaran *tension* yang terjadi pada *mooring line* (tali tambat) dalam fungsi waktu. Menurut DNV OS E301 (2004), simulasi *time domain* dilakukan selama 3 jam.

Setelah didapat hasil, berikutnya dilakukan analisa dengan variasi kedalaman daerah operasi untuk mengetahui pengaruh kedalaman terhadap operabilitas SPM CALM *Buoy*.

9. Analisa Pengaruh Variasi Kedalaman

Pada tahap ini dilakukan variasi kedalaman untuk mengetahui pengaruh kedalaman terhadap respon gerak struktur. Hasil analisis berupa perbedaan *tension* yang terjadi pada *mooring line*. Diharapkan perubahan *tension* berbanding lurus dengan besarnya pengaruh arus pada tiap elevasi kedalaman.

10. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran berisi tentang hasil analisi yang menjawab semua rumusan masalah beserta saran-saran pada penelitian selanjutnya.

3.2.PENGUMPULAN DATA

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini data yang digunakan adalah berupa data struktur, data *mooring* dan data lingkungan. Data struktur (kapal dan *buoy*) dan data lingkungan (data arus dan data angin) diperoleh dari PT. Pertamina. Adapun data-data yang digunakan dalam Tugas Akhir ini:

A. Data Struktur dan *Mooring Line*

Data struktur untuk #SPM150 CALM *Buoy* yang digunakan merupakan data struktur dari PT. Pertamina. Sedangkan untuk data kapal menggunakan rumus pendekatan *sister ship*.

Tabel 3.1 Data struktur SPM CALM *Buoy* (PT. Pertamina)

Data Struktur	Ukuran	Satuan
<i>Hull Diameter</i>	11	M
<i>Hull Depth</i>	4.5	M
<i>Skirt Outside Diameter</i>	15	M
<i>Draft</i>	2.95	M

Tabel 3.2 Data struktur *mooring line* (PT. Pertamina)

Data Struktur	Ukuran	Satuan
<i>Diameter</i>	3	Inch
<i>MBL</i>	1103000	Pounds
<i>Weight</i>	86	Pounds/ft
<i>Grade</i>	RQ3	
<i>Type</i>	Studlink	
<i>Letak anchor</i>	293	M

Tabel 3.3 Data struktur *Hawser* (PT. Pertamina)

Data Struktur	Ukuran	Satuan
Panjang <i>Hawser</i>	55	M
<i>Diameter</i>	3	Inch
<i>MBL</i>	4395	kN
<i>Type</i>	Chafe Chain Type B	

Tabel 3.4 Data struktur Kapal Tanker 150000 DWT (*sister ship*)

Data Struktur	Ukuran	Satuan
<i>Length of Water Line</i> (LWL)	271.6	M
<i>Length between perpendicular</i> (Lpp)	262	M
<i>Breadth</i> (B)	46	M
<i>Depth</i> (H)	23	M
<i>Draft</i> (T)	17	M
<i>Displacement</i>	181685	TON

B. Data Lingkungan

Data lingkungan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data dimana lokasi SPM beroperasi yaitu pada perairan lepas pantai Tuban dengan kedalaman perairan 23.5 meter.



Gambar 3.2 Lokasi #SPM150 CALM Buoy (SOFEC)

Adapun data lingkungan yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. Data Gelombang

Tabel 3.5 Data Distribusi Tinggi Gelombang dan Peak Period (Metocean Pertamina, 2008)

Hs (m)	Tp (s)					Total
	0.0-2.0	2.0-4.0	4.0-6.0	6.0-8.0	8.0-10.0	
0.00 - 0.25	17759	3879	0	0	0	21638
0.25 - 0.50	405	12719	0	0	0	13124
0.50 - 0.75	0	4371	5398	0	0	9769
0.75 - 1.00	0	77	6882	0	0	6959
1.00 - 1.25	0	1	8176	25	0	8202
1.25 - 1.50	0	0	1510	2731	0	4241
1.50 - 1.75	0	0	20	1711	0	1731
1.57-2.00	0	0	3	720	0	723
2.00 - 2.25	0	0	0	357	3	360
2.25 - 2.50	0	0	0	158	82	240
2.50 - 2.75	0	0	0	5	37	42
2.75 - 3.00	0	0	0	0	20	20
3.00 - 3.25	0	0	0	0	7	7
3.25 - 3.50	0	0	0	0	3	3
Total	18164	21047	21989	5707	152	67059

Tabel 3.6 Wave Return Period (Pertamina, 2008)

Wave Parameter	Unit	Return Period (Years)					
		1	5	10	25	50	100
Hs	m	2.480	3.000	3.340	3.760	4.080	4.480
Ts	s	7.531	8.326	8.811	9.378	9.791	10.286

b. Data Angin

Tabel 3.7 Recurring All Direction Wind Speed (Pertamina, 2008)

Return Period (years)	Hourly Wind Speed (m/s)	10-minute Wind Speed (m/s)	1-minute Wind Speed (m/s)	3-second Gust (m/s)
1	12.707	13.469	14.994	16.900
2	14.703	15.585	17.349	19.555
10	16.133	17.101	19.037	21.457
25	19.595	20.771	23.122	26.062
50	22.167	23.496	26.158	29.483
100	24.714	26.197	29.162	32.869

Data dalam kondisi operasi adalah sebagai berikut:

Wind Velocity (1-hour)	: 11.2 m/sec
Significant Wave Height	: 3.1 m
Significant Wave Period	: 6.9 sec
Current	: 0.75 m/sec

Data dalam kondisi badai (100 tahunan) adalah sebagai berikut:

Wind Velocity (1-hour)	: 19.4 m/sec
Significant Wave Height	: 4.48 m
Significant Wave Period	: 10.28 sec
Current	: 0.95 m/sec

BAB IV

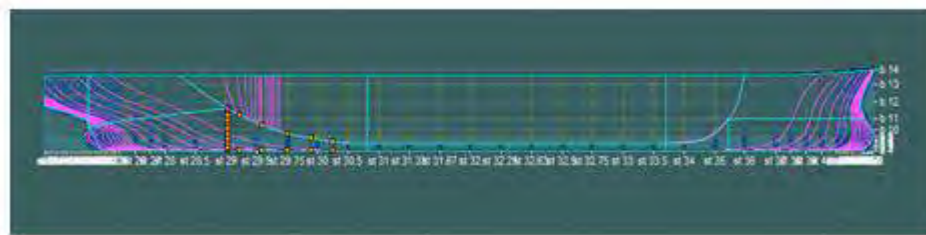
ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 PEMODELAN KAPAL DAN SPM

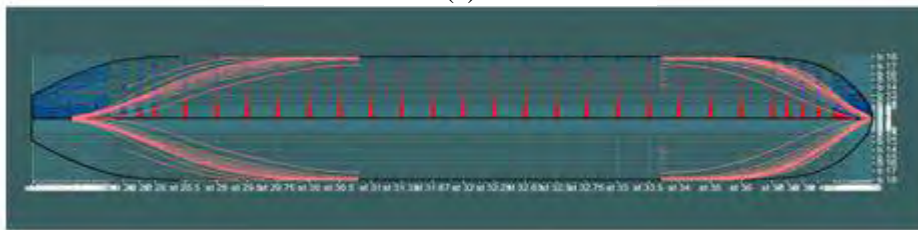
Pemodelan serta analisis Kapal dan CALM *Buoy* yang pertama dilakukan dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *software Maxsurf* untuk mendapatkan data hidrostatik. Langkah awal adalah dengan memodelkan struktur sesuai dengan ukuran yang mengacu pada *General Arrangement (GA)* dan beberapa rumus pendekatan untuk data yang tidak diketahui. Pemodelan pada *Maxsurf* juga digunakan untuk mencari titik koordinat pada *body plan* yang nantinya akan digunakan untuk pemodelan pada *software HydroSTAR*.

1. Pemodelan pada *maxsurf*

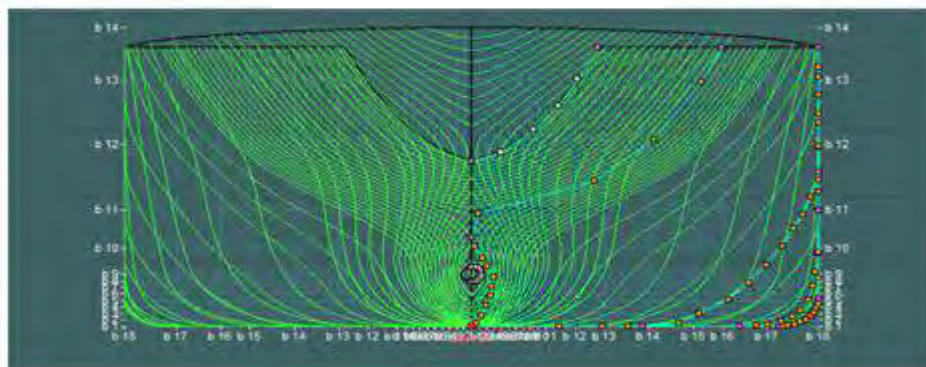
a) Model kapal tanker



(a)



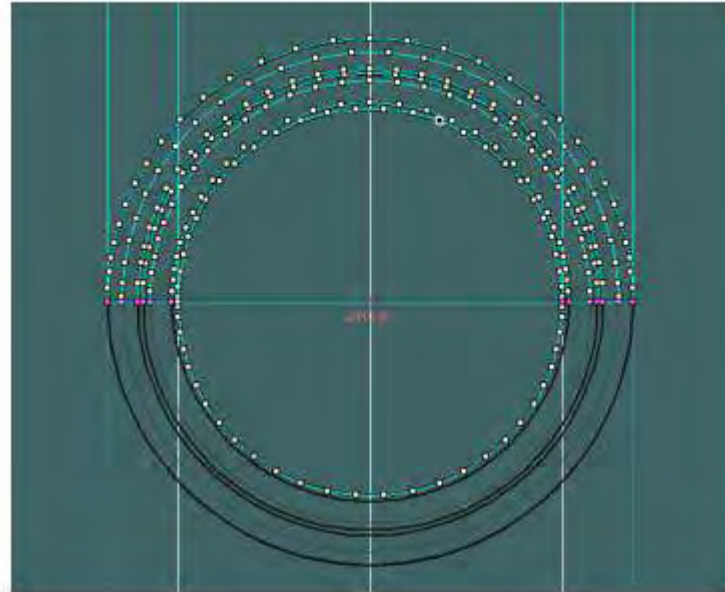
(b)



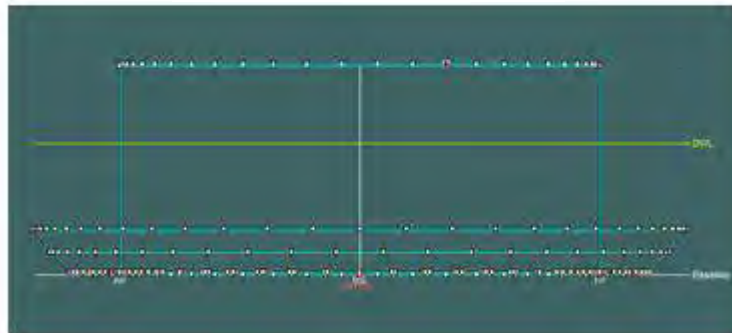
(c)

Gambar 4. 1 Pemodelan Tanker menggunakan *software Maxsurf* (a) tampak samping, (b) tampak atas, (c) *body plan*

b) Model *CALM Buoy*



(a)



(b)

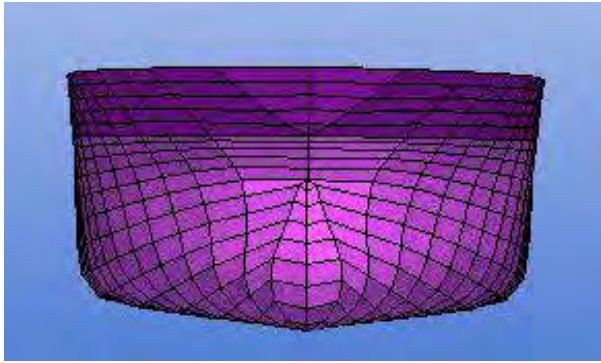
Gambar 4. 2 Pemodelan *CALM Buoy* menggunakan software maxsurf (a) tampak atas, (b) tampak bawah

Setelah dilakukan pemodelan di *Maxsurf* maka dihitunglah *offset* dari badan kapal dan *CALM Buoy* tersebut, *offset* merupakan titik-titik koordinat yang berada pada *body plan* dan menggambarkan model tersebut. *Offset* ini yang digunakan untuk memodelkan Kapal dan *CALM Buoy* pada *HydroSTAR*.

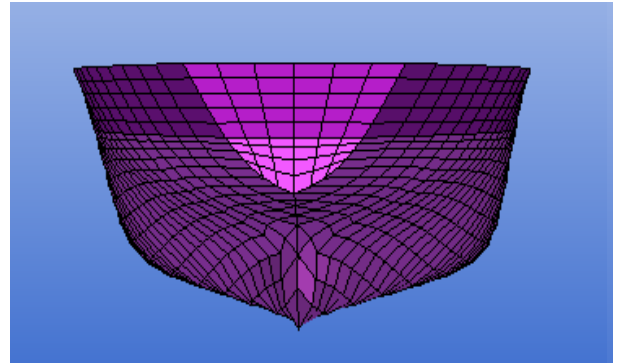
Berikut ini merupakan tampilan model Kapal dan *CALM Buoy* yang dimodelkan pada software *HydroSTAR* dapat dilihat pada Gambar 4.3.

2. Pemodelan pada *HydroSTAR*

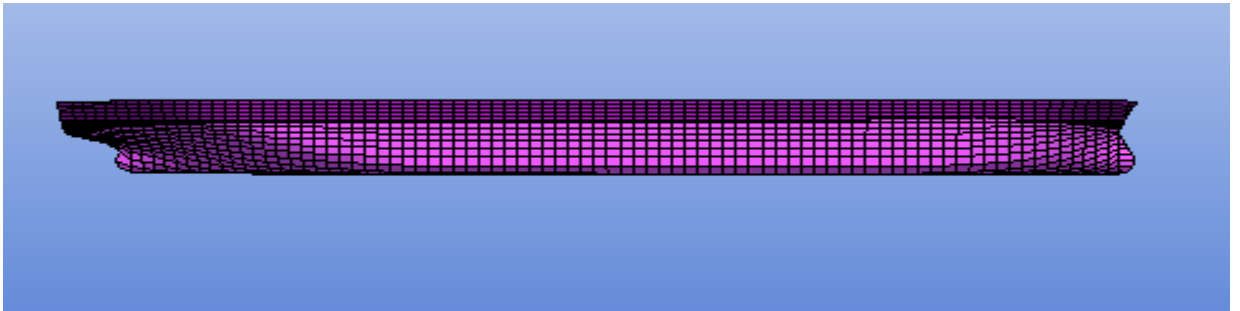
a) Model Kapal Tanker



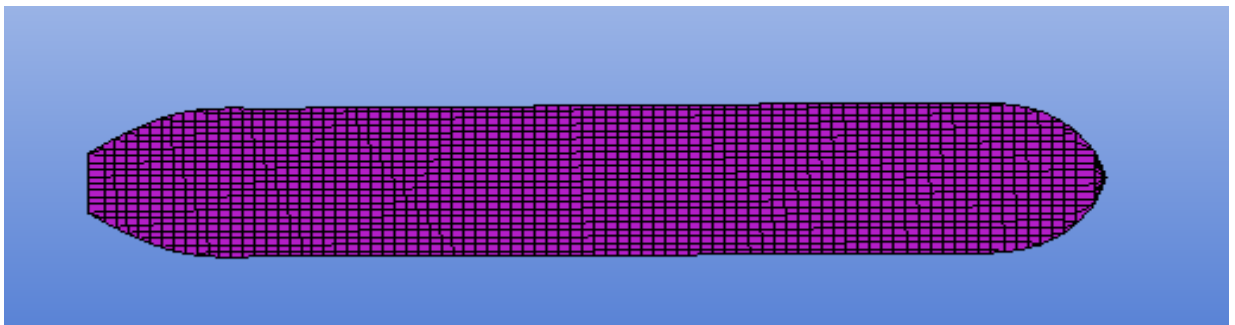
(a)



(b)



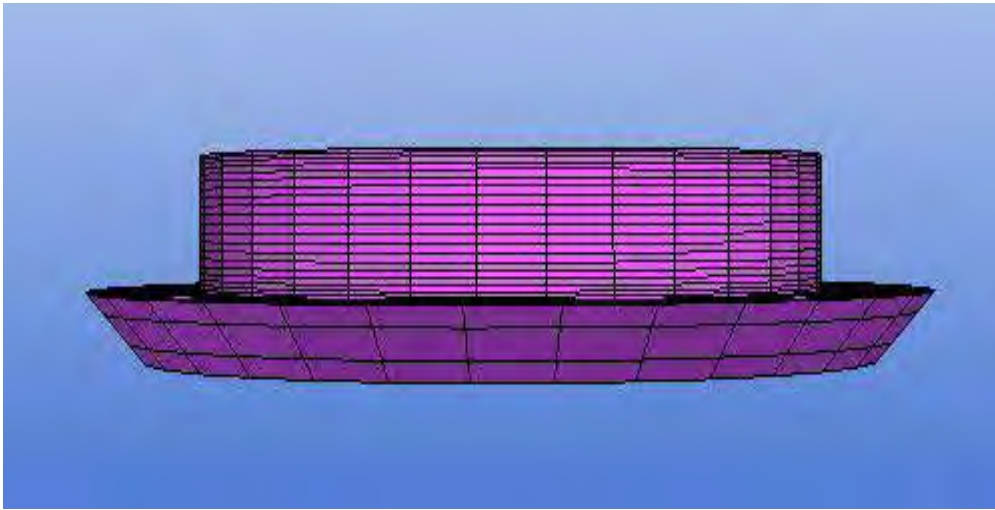
(c)



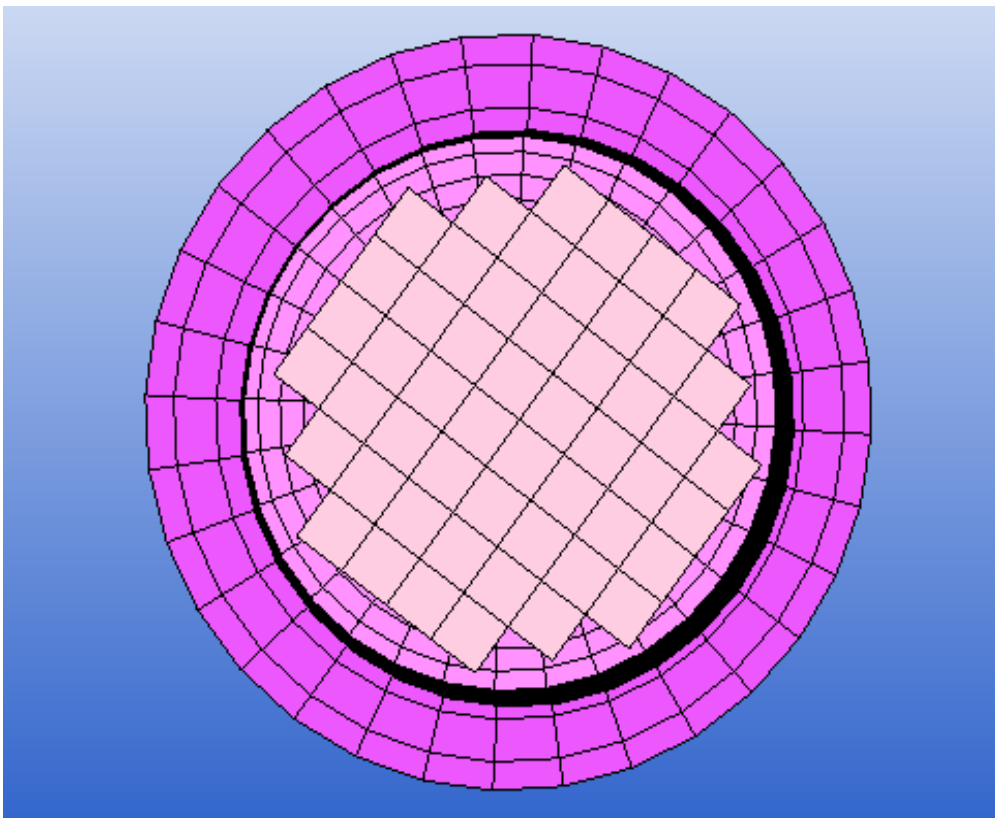
(d)

Gambar 4. 3 Pemodelan Tanker pada *HydroSTAR*, Model dilihat dari beberapa sisi : tampak depan (gambar a), tampak belakang (gambar b), tampak samping (gambar c), tampak atas (gambar d)

b) Model CALM *Buoy*



(a)



(b)

Gambar 4. 4 Pemodelan CALM *Buoy* pada *HydroSTAR*, Model dilihat dari beberapa sisi : tampak samping (gambar a), tampak atas (gambar b).

Sebelum lanjutkan ke dalam tahap analisis, pemodelan yang dilakukan baik pada *Maxsurf* dan *HydroSTAR* harus divalidasi terlebih dahulu untuk mengetahui apakah kapal tersebut sesuai dengan kondisi yang sebenarnya sehingga layak untuk digunakan dalam analisis- analisis berikutnya. Kriteria validasi yang digunakan mengacu pada ABS dimana untuk validasi displacement bernilai maksimum 2% dan untuk ketentuan lainnya bernilai maksimum 1%.

Berikut ini merupakan hasil validasi pemodelan ditunjukkan pada Tabel 4.1.

A. Validasi Model Kapal

Tabel 4. 1 Hasil validasi model Kapal

Perbandingan	Satuan	Model		Koreksi (%)
		<i>Maxsurf</i>	<i>HydroSTAR</i>	
<i>Displacement</i>	ton	181685	182327	0.353
<i>Water Plan Area</i>	m ²	11548.1	11553	0.042
<i>LOA</i>	m	272	271.3	0.257
<i>LWL</i>	m	268.9	268.7	0.074
<i>LPP</i>	m	262	262	0.000
<i>B</i>	m	47	47	0.000
<i>T</i>	m	17	17	0.000
<i>LCB</i>	m	133.634	133.45	0.138
<i>CB</i>	m	0.825	0.829	0.429
<i>KB</i>	m	8.841	8.8	0.464
<i>Keel to Metacenter Transversal (KMT)</i>	m	19.88	19.87	0.050
<i>Keel to Metacenter Longitudinal (KML)</i>	m	344.707	347.5	0.810
<i>Buoy to Metacenter Transversal (BMT)</i>	m	11.03	11.07	0.363
<i>Buoy to Metacenter Longitudinal (BML)</i>	m	335.867	338.7	0.843

B. Validasi Model CALM Buoy

Tabel 4. 2 Hasil validasi model CALM Buoy

Perbandingan	Satuan	Model		Koreksi (%)
		<i>Maxsurf</i>	<i>HydroSTAR</i>	
<i>Displacement</i>	ton	345.8	345.77	0.009
<i>Water Plan Area</i>	m ²	94	94	0.000
<i>Outter Skirt Diameter</i>	m	15	15	0.000
<i>Diameter</i>	m	11	11	0.000
<i>B</i>	m	4	4	0.000
<i>T</i>	m	2.95	2.95	0.000
<i>KB</i>	m	1.35	1.35	0.000
<i>Keel to Metacenter Transversal (KMT)</i>	m	3.451	3.45	0.029
<i>Keel to Metacenter Longitudinal (KML)</i>	m	3.442	3.44	0.058
<i>Buoy to Metacenter Transversal (BMT)</i>	m	2.11	2.1	0.474
<i>Buoy to Metacenter Longitudinal (BML)</i>	m	2.11	2.1	0.474

Berdasarkan hasil validasi di atas dapat diambil kesimpulan bahwa model *HydroSTAR* layak digunakan dalam analisis-analisis selanjutnya.

4.2 SKENARIO ANALISIS KARAKTERISTIK GERAK STRUKTUR

Sebelum memasuki tahap analisis karakteristik gerakan dari struktur kapal dan *CALM Buoy*, terlebih dahulu ditentukan skenario variasi kedalaman dengan mengacu pada nilai *non-dimensional water depth (kh)* untuk parameter lingkungan dan *D/T* (kedalaman/sarat air) untuk parameter struktur. Nilai *kh* diperoleh dari perkalian antara angka gelombang (*k*) dengan kedalaman (*h*).

a) Menghitung nilai *k* untuk *shallow water*

$$K_w = 2\pi / \lambda_w \quad (4. 1)$$

b) Menghitung nilai λ

$$\lambda = T\sqrt{gd} \quad (4.2)$$

Setelah didapat nilai dari k , maka selanjutnya dipilih variasi kedalaman untuk menentukan nilai kh dengan interval 1,3 ; 1.4; 1.5; 1.6 ; 1.8 ; 2 ; 2.2 ; 2.5 ; 3. Interval rendah pada awal nilai kh dikarenakan perubahan tren pada kedalaman yang lebih dangkal mempunyai perubahan yang cukup signifikan Sedangkan nilai D/T mengikuti kedalaman berdasarkan kh , didapat variasi kedalaman dengan masing-masing kedalaman sebagai berikut:

Tabel 4.3 Nilai rasio kh dan D/T

<i>Depth</i>	λ	kh	D/T
21	103.6	1.3	1.2
23	103.6	1.4	1.3
25	103.6	1.5	1.4
27	103.6	1.6	1.5
30	103.6	1.8	1.7
33	103.6	2.0	1.9
37	103.6	2.2	2.1
42	103.6	2.5	2.4
50	103.6	3.0	2.9

4.2.1 Perhitungan *Center of Gravity* Struktur

Berdasarkan pemodelan dari *Maxsurf* yang hanya memodelkan bagian lambung kapal saja, maka untuk mencari *Center of Gravity* diperlukan perhitungan seluruh struktur berdasarkan dari *General Arrangement* dari kapal pembanding yang mempunyai ukuran hampir serupa dengan cara membandingkan skala kapal pembanding dengan ukuran kapal yang akan digunakan dengan asumsi semua kapal dengan *class* yang sama mempunyai bentuk, letak dan equipment yang sama. *Center of Gravity* digunakan untuk *input* menghitung *RAO* pada *HydroSTAR*.

4.2.2 Perhitungan Radius Girasi Struktur

Selain *Center of Gravity*, untuk menghitung *RAO* juga memerlukan *input* berupa radius girasi dari struktur. Perhitungan radius girasi struktur didasarkan pada

persamaan yang diajukan oleh Bhattacharyya (1978) dimana radius girasi dari gerak rotasi struktur merupakan hasil akar dari jumlah massa dikalikan masing-masing jarak massa tersebut dari *center of gravity* struktur.

- Radius girasi *roll*

$$k_{xx} = \sqrt{\frac{\sum w_i(y_i^2 + z_i^2)}{\Delta}} \quad (4.3)$$

- Radius girasi *pitch*

$$k_{yy} = \sqrt{\frac{\sum w_i(x_i^2 + z_i^2)}{\Delta}} \quad (4.4)$$

- Radius girasi *yaw*

$$k_{zz} = \sqrt{\frac{\sum w_i(x_i^2 + y_i^2)}{\Delta}} \quad (4.5)$$

Menurut Bhattacharyya (1978) perhitungan ini dilakukan dengan cara membagi kapal dalam bentuk pias-pias kecil lalu kemudian dihitung menggunakan perkalian simpson. Tetapi ketika bentuk kapal yang akan dianalisis berbentuk tidak homogen sehingga akan susah menentukan titik *point mass* dari sebuah volume benda tak beraturan, maka pada penelitian kali ini menggunakan perhitungan radius girasi dengan pendekatan dari Bureau Veritas, yaitu sebagai berikut :

- Radius girasi *roll*

$$k_{xx} = 0,289 * B * \left(1,0 + \left(\frac{2 \overline{KG}}{B}\right)^2\right) \quad (4.6)$$

- Radius girasi *pitch* = radius girasi *yaw*

$$k_{yy} = k_{zz} = \sqrt{\frac{1}{12}} L \quad (4.7)$$

dengan,

B = lebar kapal (meter)

\overline{KG} = jarak *keel to gravity* (meter)

L = *Length of Water Line* (meter)

4.2.3 Skenario Pembebanan (*Enviromental Loads*)

Untuk pembebanan lingkungan dilakukan secara *collinear*, yaitu ketika beban gelombang, arus dan angin berasal dari arah yang sama. Hal ini dipilih karena pada saat gelombang, arus dan angin berasal dari arah yang sama, maka struktur akan mendapat beban maksimum sehingga akan diketahui *tension* maksimum pada *mooring line*.

4.2.4 Skenario Ananlisis

Skenario analisis yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri dari kondisi masing-masing struktur mengapung bebas (*free floating*). Dari kondisi terapung bebas tersebut, dicari karakteristik gerakan masing-masing benda berdasarkan variasi kedalaman yang telah ditentukan. Setelah didapat *RAO* masing-masing benda, kemudian dilakukan analisis *tension* dan *offset* pada kondisi ketika kapal berada sejajar dengan *mooring line* dan ketika kapal berada diantara *mooring line*.

4.3 ANALISIS KARAKTERISTIK GERAK STRUKTUR

4.3.1 Ananlisis Karakteristik Mengapung Bebas Pada Gelombang Reguler

Karakteristik gerak kapal dalam kondisi mengapung bebas (*free floating*) tanpa sistem penambatan akan menghasilkan 6 derajat kebebasan atau yang biasa disebut 6 *Degree of Freedom (DOF)* yaitu masing-masing gerak vertikal (*heave*, *roll* dan *pitch*) dan gerak horisontal (*surge*, *sway* dan *yaw*).

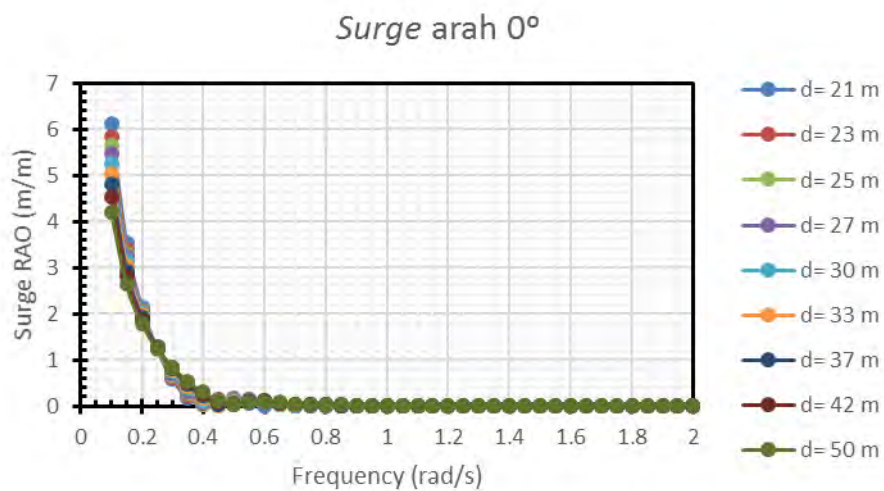
Besarnya nilai gerakan horisontal ini sangat dipengaruhi oleh variasi kedalaman dikarenakan adanya perubahan energi gelombang akibat kedalaman perairan yang berbeda. Sedangkan untuk besarnya nilai dari gerakan vertikal lebih dipengaruhi oleh frekwensi dari gelombang.

Penjelasan di bawah ini akan meerangkan karakteristik dari gerak kapal dan CALM *Buoy* yang dianalisis dengan variasi kedalaman dengan beban gelombang buritan (*heading* 0°), gelombang perempat buritan (*heading* 45°), gelombang sisi (*heading* 90°), gelombang perempat haluan (*heading* 135°) dan gelombang haluan (*heading* 180°).

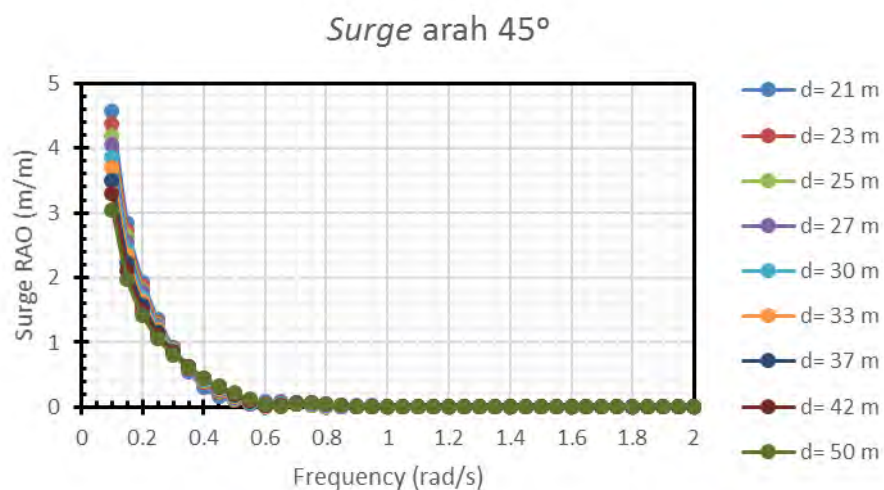
1. KAPAL

A. Karakteristik Gerak Surge Kapal

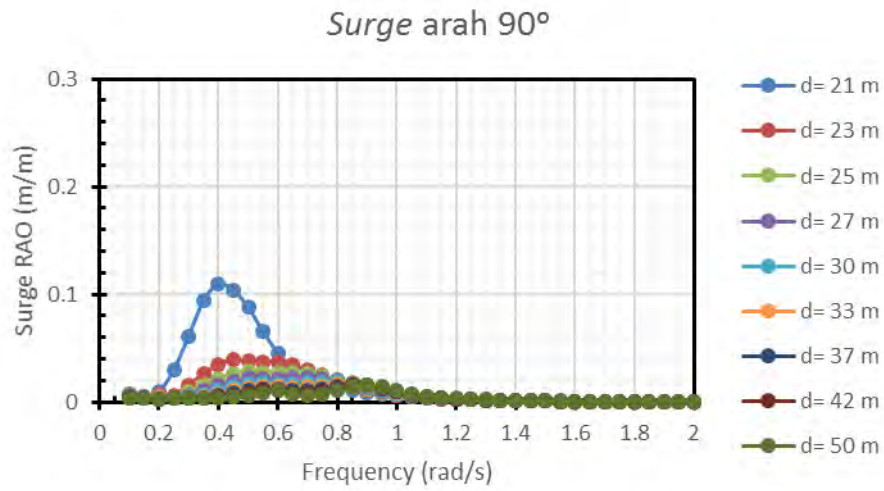
Karakteristik gerak *surge* kapal pada masing-masing kedalaman dan arah pembebanan akan ditunjukkan dalam grafik RAO yang terdapat pada Gambar 4.5 di bawah ini



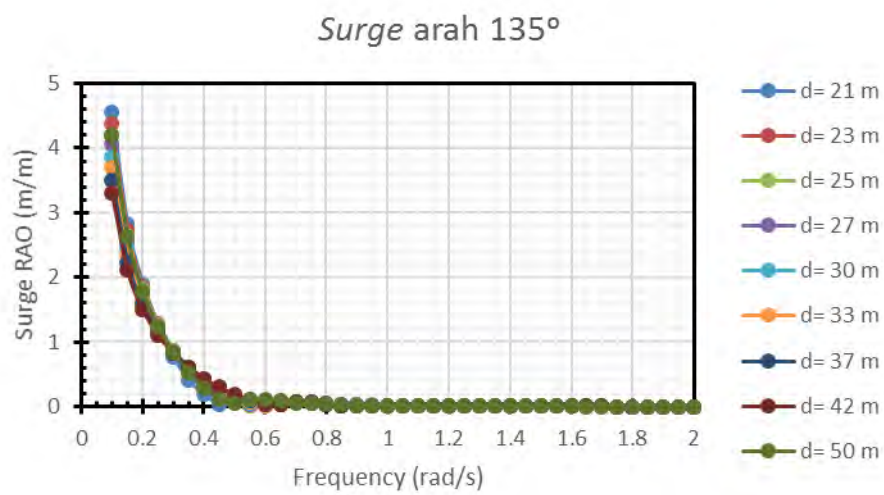
(a)



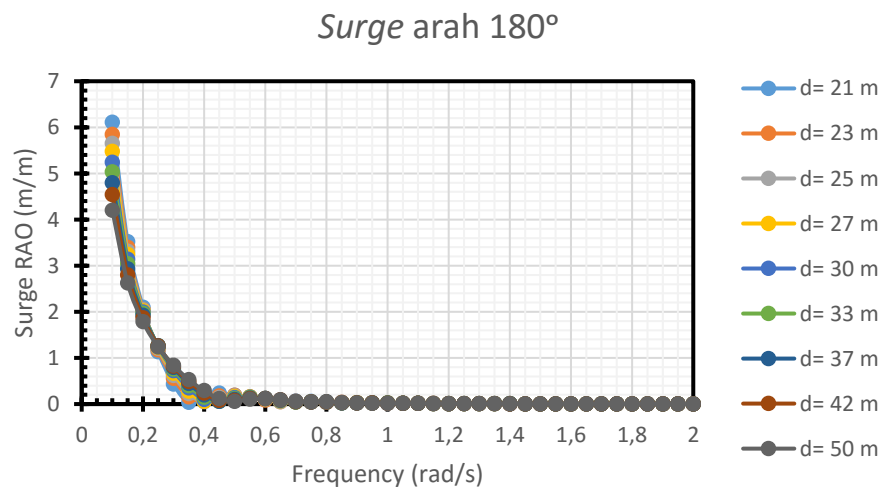
(b)



(c)



(d)



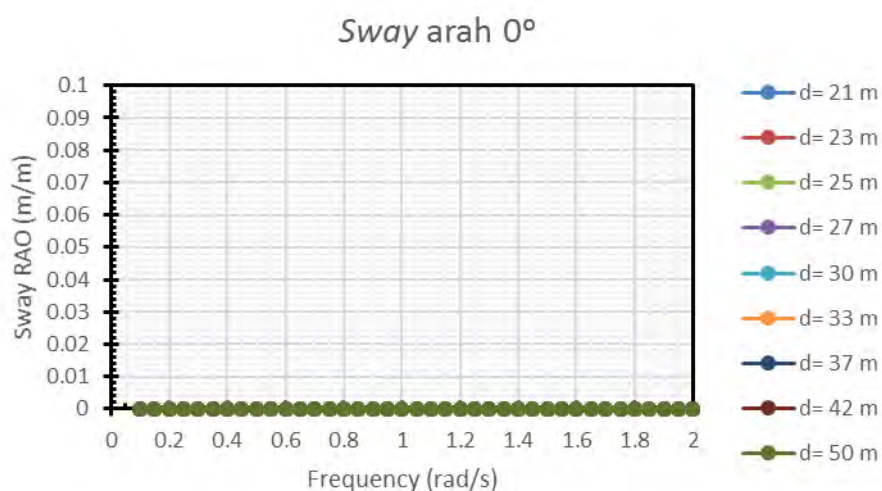
(e)

Gambar 4. 5 RAO Gerakan *Surge* kapal (a) arah 0°, (b) arah 45°, (c) arah 90°, (d) arah 135°, (e) arah 180°

Karakteristik gerakan *surge* seperti yang ditunjukkan dalam grafik RAO (gambar 4.5) menunjukkan pada daerah frekuensi awal (0.1 rad/sec) RAO *surge* mempunyai harga 6.1 m/m untuk arah pembebanan 0° dan 180°, harga 4.5 m/m untuk arah pembebanan 45° dan 135°, dan harga 0.07 m/m untuk arah pembebanan 90°. harga RAO kemudian menurun secara tajam hingga mencapai frekuensi sekitar 0.5 rad/sec dan terus konsisten hingga frekuensi 2 rad/sec untuk arah pembebanan 0°, 45°, 135° dan 180°. Sedangkan untuk arah pembebanan 90° nilainya beranjak naik dimulai dari frekuensi 0.2 rad/s hingga mencapai puncak pada frekuensi 0.4-0.5 rad/sec untuk semua variasi kedalaman. Nilai maksimum dari RAO *surge* mengalami penurunan seiring dengan perbedaan kedalaman perairan. Semakin dalam perairan, maka nilai maksimum akan semakin berkurang. Namun nilai dari gerakan *surge* pada perairan dalam akan lebih besar dari pada perairan dangkal ketika frekuensi gelombang berada di atas 0.5 rad/sec tetapi nilainya jauh di bawah nilai maksimum gerakan *surge*.

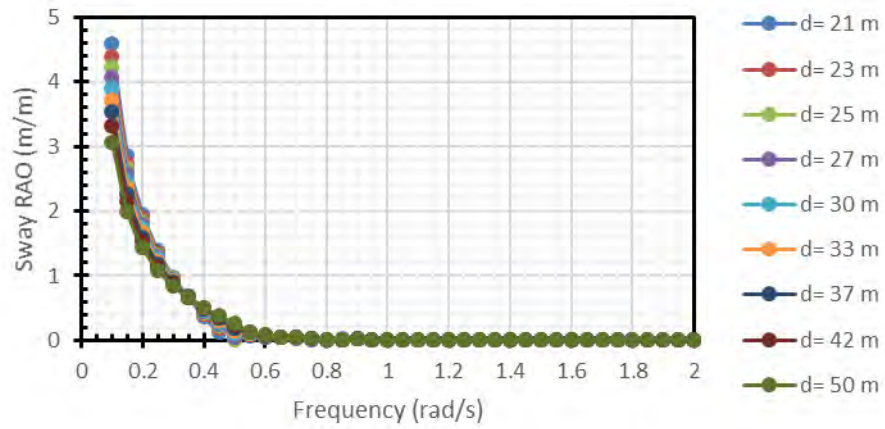
B. Karakteristik Gerak Sway Kapal

Karakteristik gerak *sway* kapal pada masing-masing kedalaman dan arah pembebanan akan ditunjukkan dalam grafik RAO yang terdapat pada Gambar 4.6 di bawah ini.



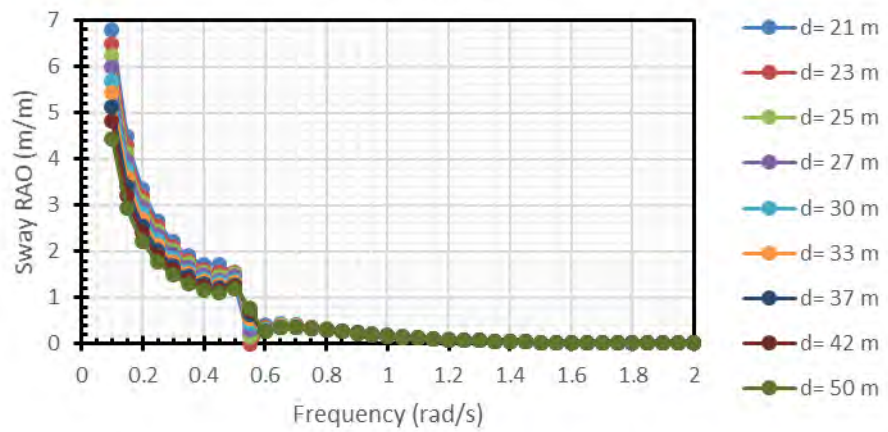
(a)

Sway arah 45°



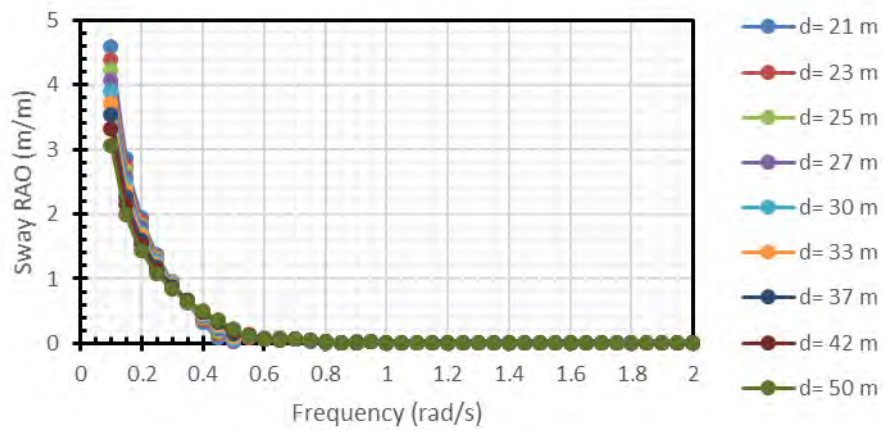
(b)

Sway arah 90°

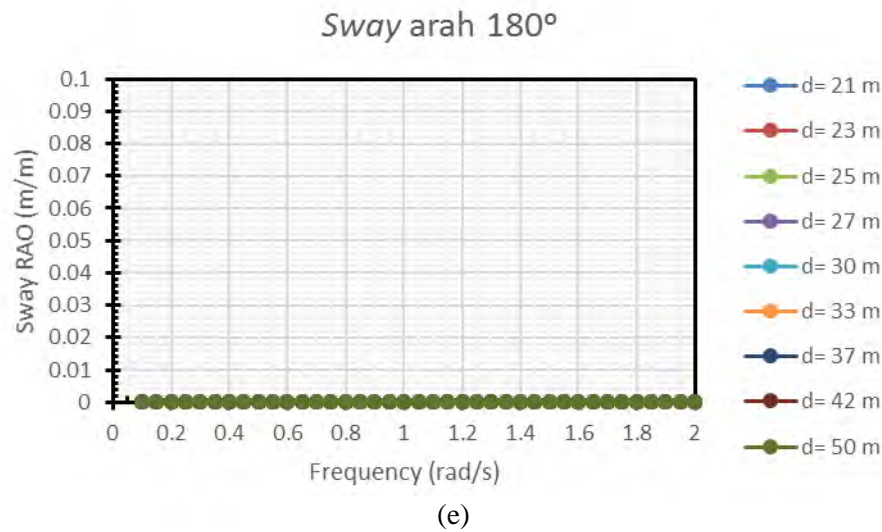


(c)

Sway arah 135°



(d)



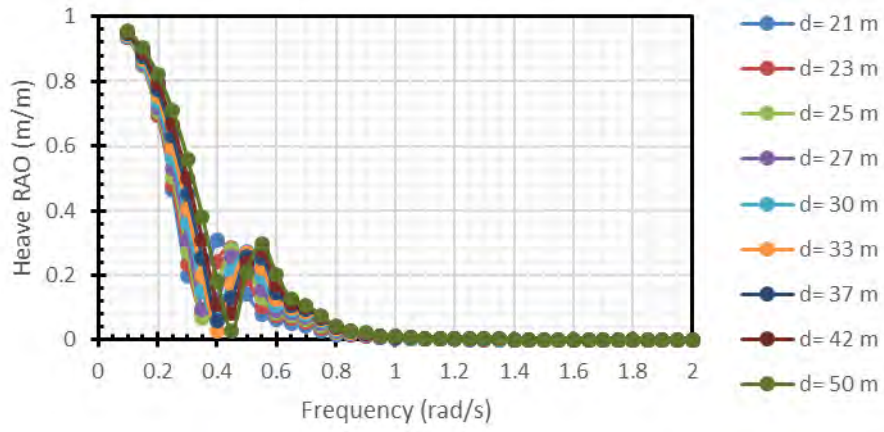
Gambar 4. 6 RAO Gerakan *Sway* kapal (a) arah 0° , (b) arah 45° , (c) arah 90° , (d) arah 135° , (e) arah 180°

Karakteristik gerakan *sway* seperti yang ditunjukkan dalam grafik RAO (gambar 4.6) menunjukkan pada daerah frekuensi awal (0.1 rad/sec) RAO *sway* mempunyai harga 4.5 m/m untuk arah pembebanan 45° dan 135° , harga 6.7 m/m untuk arah pembebanan 90° , dan harga 0 m/m untuk arah pembebanan 0° dan 180° . Harga RAO kemudian menurun secara tajam hingga mendekati 0 frekuensi sekitar 0.5 rad/sec dan terus konsisten hingga frekuensi 2 rad/sec untuk arah pembebanan 45° dan 135° . Sedangkan untuk arah pembebanan 90° nilainya mengalami penurunan konsisten hingga pada frekuensi 0.5 rad/sec ke frekuensi 0.55 rad/sec mengalami perbedaan nilai yang cukup signifikan lalu mengalami penurunan secara stabil lagi hingga pada frekuensi 2 rad/sec. Nilai *sway* pada arah pembebanan 0° dan 180° tidak mengalami perubahan sejak pada frekuensi 0.1 rad/sec hingga pada frekuensi 2 rad/sec. Nilai maksimum dari RAO *sway* mengalami penurunan seiring dengan perbedaan kedalaman perairan. Semakin dalam perairan, maka nilai maksimum akan semakin berkurang.

C. Karakteristik Gerak *Heave* Kapal

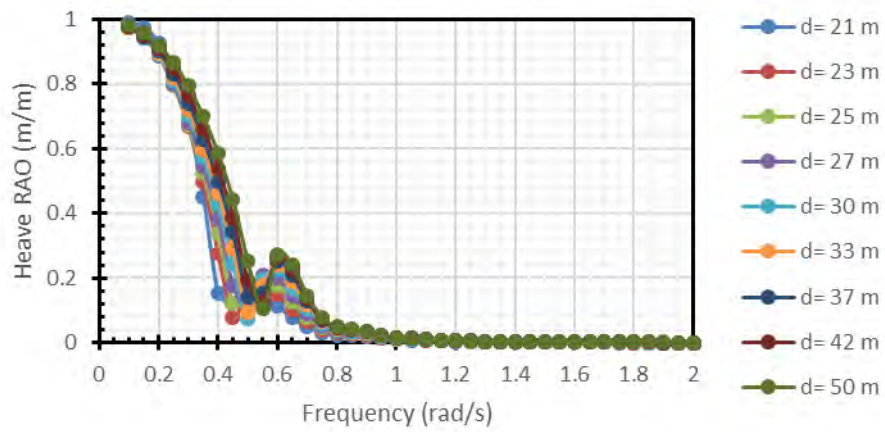
Karakteristik gerak *heave* kapal pada masing-masing kedalaman akan ditunjukkan dalam grafik RAO yang terdapat pada Gambar 4.7 di bawah ini.

Heave arah 0°



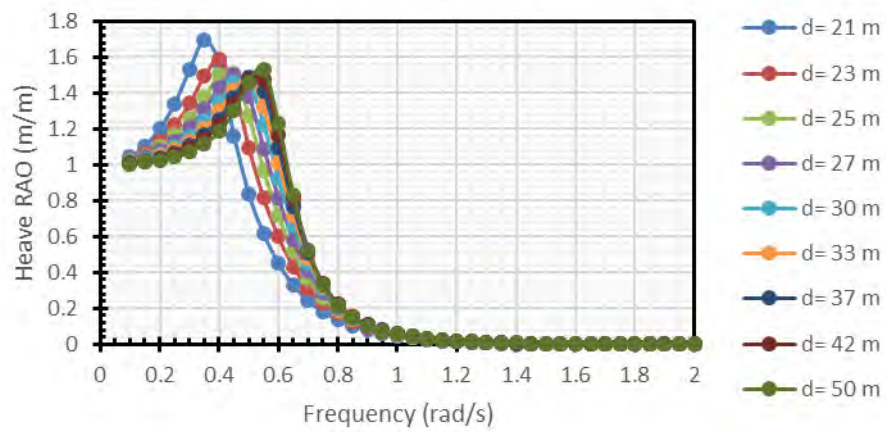
(a)

Heave arah 45°

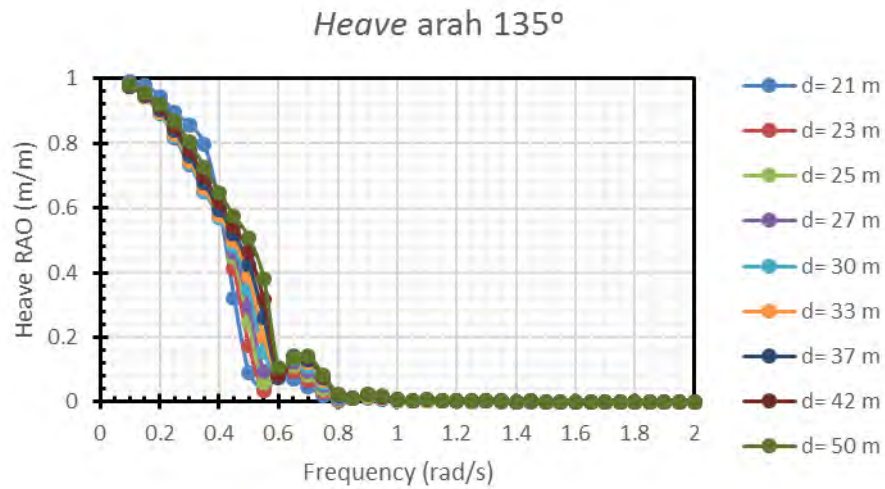


(b)

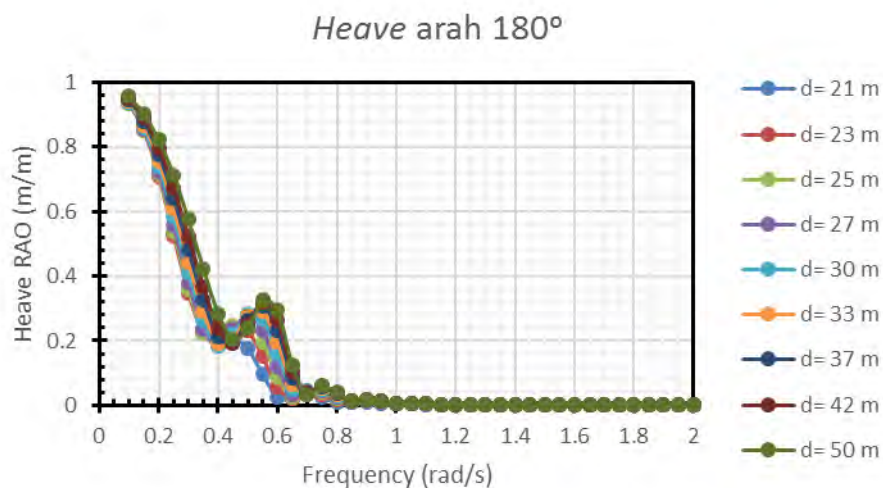
Heave arah 90°



(c)



(d)



(e)

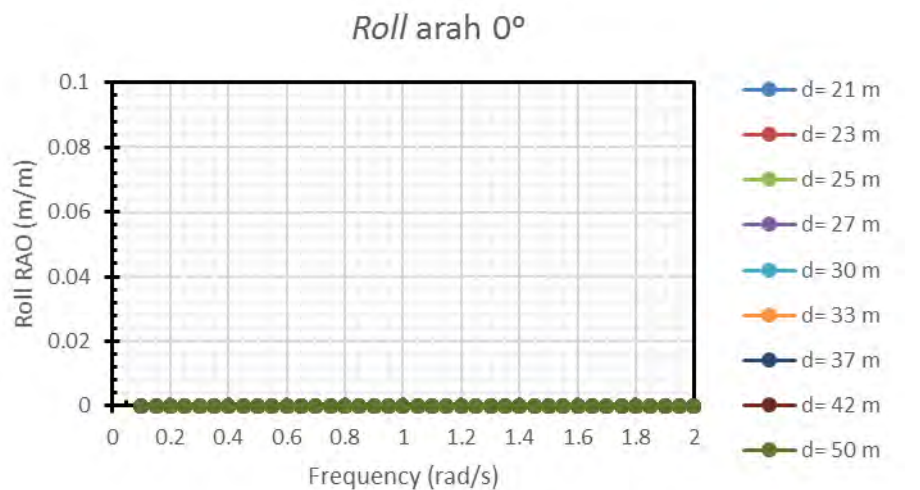
Gambar 4. 7 RAO Gerakan *heave* kapal (a) arah 0° , (b) arah 45° , (c) arah 90° , (d) arah 135° , (e) arah 180°

Karakteristik gerakan *heave* seperti yang ditunjukkan dalam grafik RAO (gambar 4.7) menunjukkan pada daerah frekuensi awal (0.1 rad/sec) RAO *heave* mempunyai nilai maksimal 0.94 m/m untuk arah pembebanan 0° dan 180° . Nilai maksimal untuk arah pembebanan 45° dan 135° mempunyai nilai sebesar 0.99 m/m. Keempat arah pembebanan tersebut memiliki karakteristik yang hampir sama yaitu mengalami penurunan nilai *heave* hingga pada frekuensi 0.4 rad/sec kemudian beranjak naik kembali pada frekuensi 0.5 rad/sec hingga pada frekuensi 0.7 rad/sec tergantung dari kedalaman daerah operasi. Setelah melewati frekuensi 0.7 nilai dari gerakan *heave* cenderung mengalami penurunan yang stabil hingga mencapai

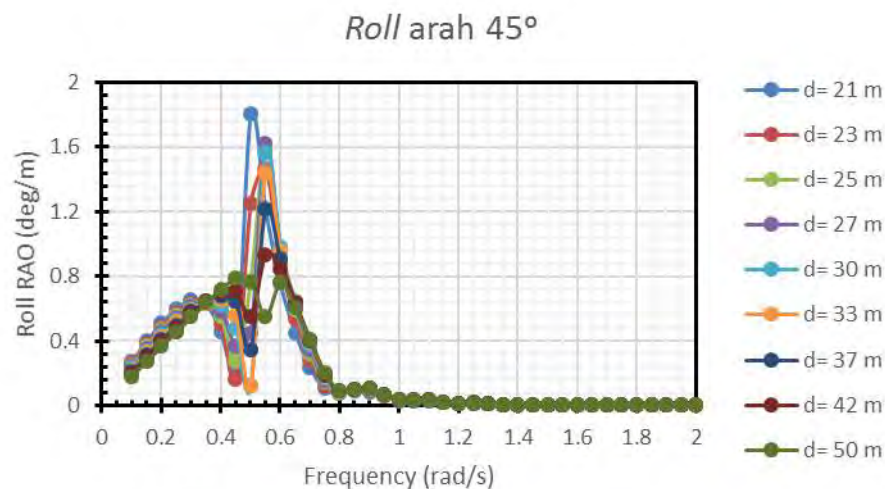
frekuensi 2 rad/s. Berbeda dengan keempat arah pembebanan tadi, arah pembebanan 90° memiliki karakteristik yang berbeda. Nilai pada frekuensi 0.1 rad/sec mempunyai harga 1 m/m terus mengalami kenaikan hingga posisi puncak pada frekuensi sekitar 0.4 rad/sec hingga 0.5 rad/sec tergantung dari kedalaman daerah operasi. Setelah melewati frekuensi 0.5 rad/sec, nilai dari *heave* mengalami penurunan bertahap secara signifikan hingga ada frekuensi 1 rad/sec. Setelah melewati frekuensi 1 rad/sec, tidak terlihat adanya perubahan nilai *heave* dan cenderung harganya mendekati 0 m/m.

D. Karakteristik Gerak *Roll* Kapal

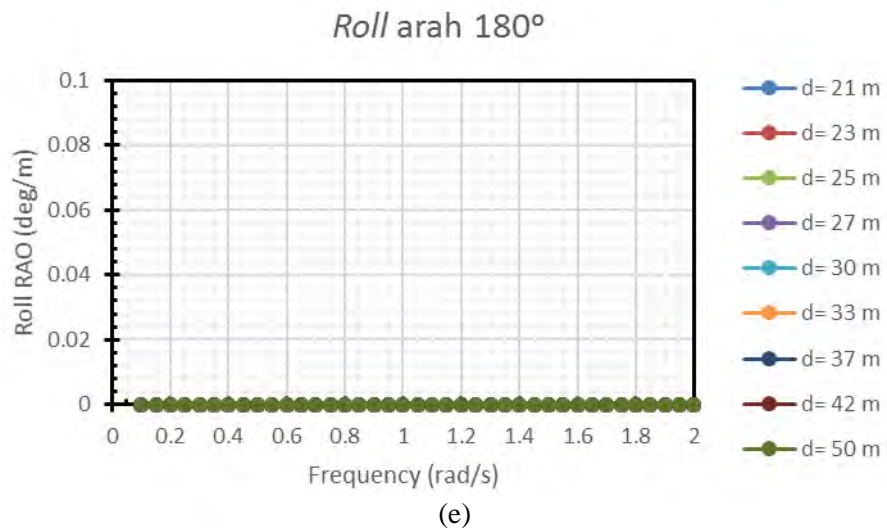
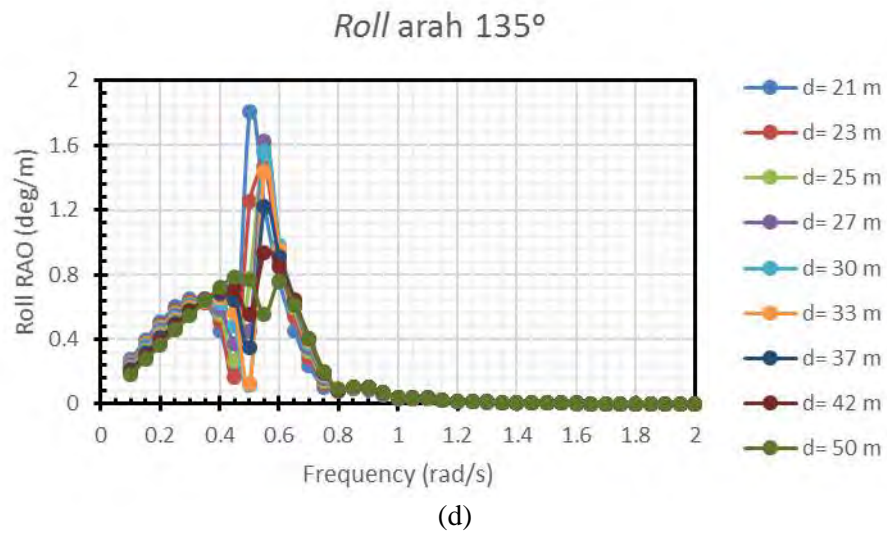
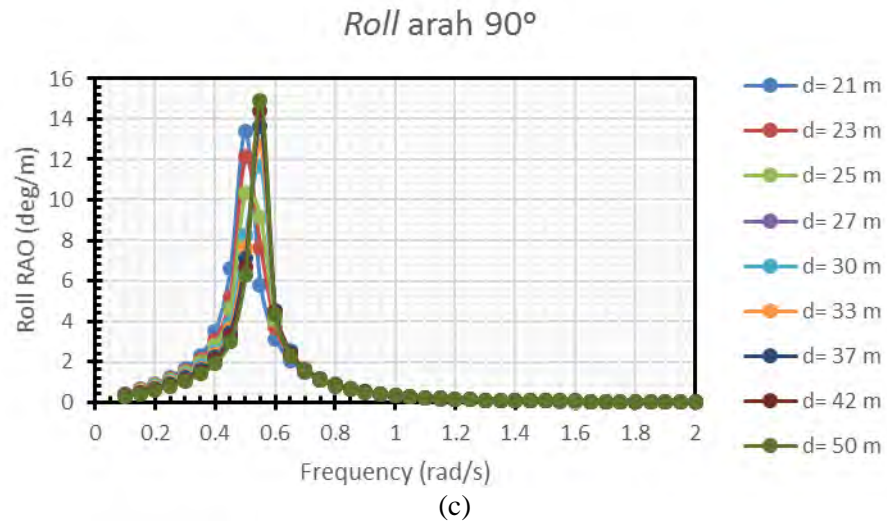
Karakteristik gerak *Roll* kapal pada masing-masing kedalaman akan ditunjukkan dalam grafik RAO yang terdapat pada Gambar 4.8 di bawah ini.



(a)



(b)

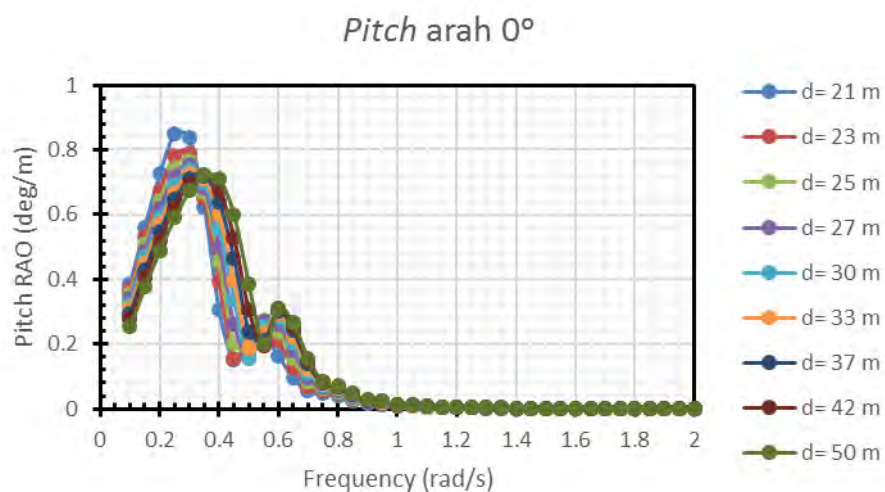


Gambar 4. 8 RAO Gerakan *roll* kapal (a) arah 0°, (b) arah 45°, (c) arah 90°, (d) arah 135°, (e) arah 180°

Karakteristik gerakan *roll* seperti yang ditunjukkan dalam grafik RAO (gambar 4.8) menunjukkan pada daerah frekuensi awal (0.1 rad/sec) RAO *roll* pada arah pembebanan 0° dan 180° mempunyai harga mendekati 0 m/m dan terus konsisten hingga frekuensi 2 rad/sec. Untuk arah pembebanan 45° dan 135° nilainya naik hingga pada frekuensi 0.35 rad/sec lalu kembali turun hingga frekuensi 0.45 rad/sec. Setelah terjadi penurunan, kemudian mengalami kenaikan harga kembali hingga mencapai nilai maksimum *roll* pada frekuensi 0.5 rad/sec lalu kemudian kembali turun nilainya hingga pada frekuensi 0.9 rad/sec. Setelah terjadi penurunan, nilai *roll* kembali naik tetapi tidak signifikan lalu langsung turun nilainya pada frekuensi 0.9 rad/sec. Untuk arah pembebanan 90° mempunyai karakteristi yang berbeda. Dari frekuensi awal mengalami kenaikan nilai secara konsisten hingga mencapai nilai puncak yang sama dengan arah pembebanan 45° dan 135° pada frekuensi 0.5 rad/sec. Setelah mengalami nilai *roll* maksimum pada frekuensi 0.5 rad/sec, terjadi penurunan secara signifikan pada frekuensi 0.55 rad/sec dan terus mengalami penurunan hingga mempunyai nilai yang stabil pada frekuensi diatas 1 rad/sec. Harga maksimum dari *roll* mempunyai perbedaan nilai yang cukup signifikan apabila mempunyai kedalaman operasi yang berbeda.

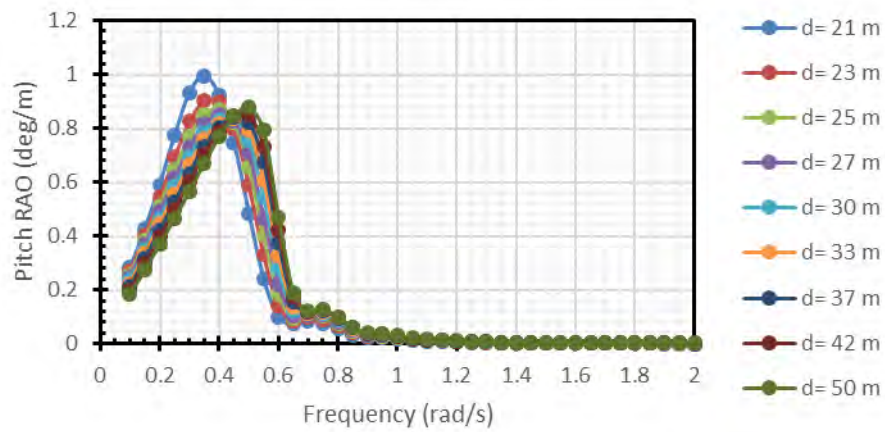
E. Karakteristik Gerak *Pitch* Kapal

Karakteristik gerak *Pitch* kapal pada masing-masing kedalaman dan arah pembebanan akan ditunjukkan dalam grafik RAO yang terdapat pada Gambar di bawah ini.



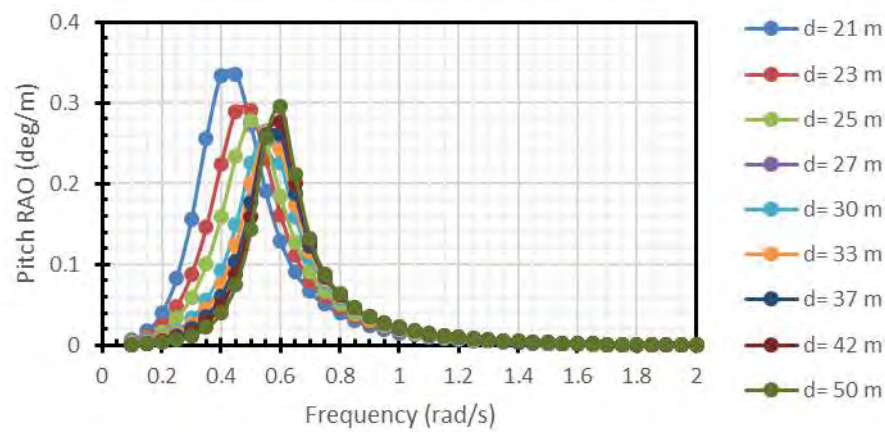
(a)

Pitch arah 45°



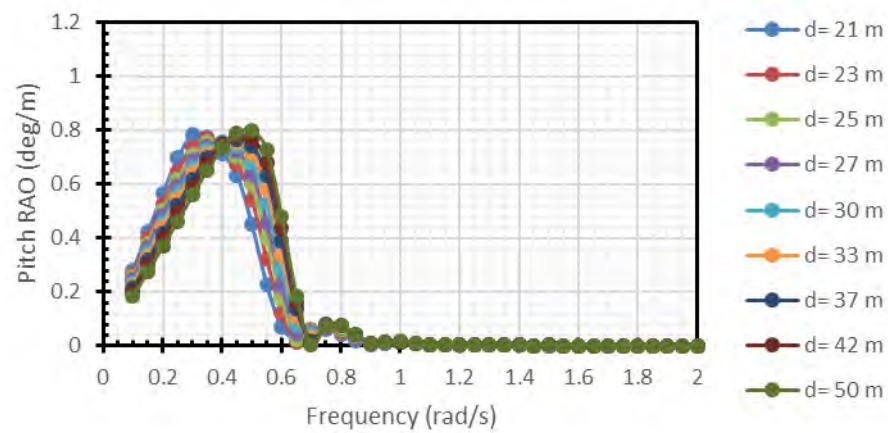
(b)

Pitch arah 90°

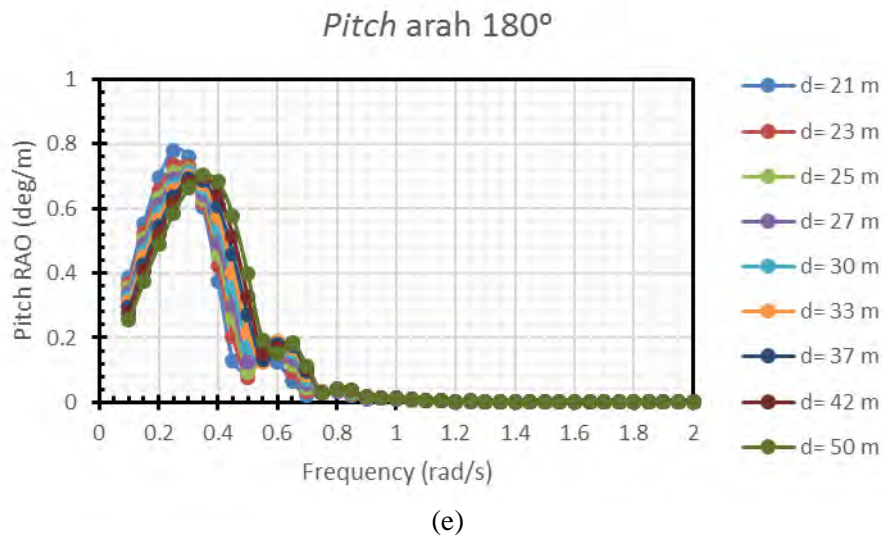


(c)

Pitch arah 135°



(d)

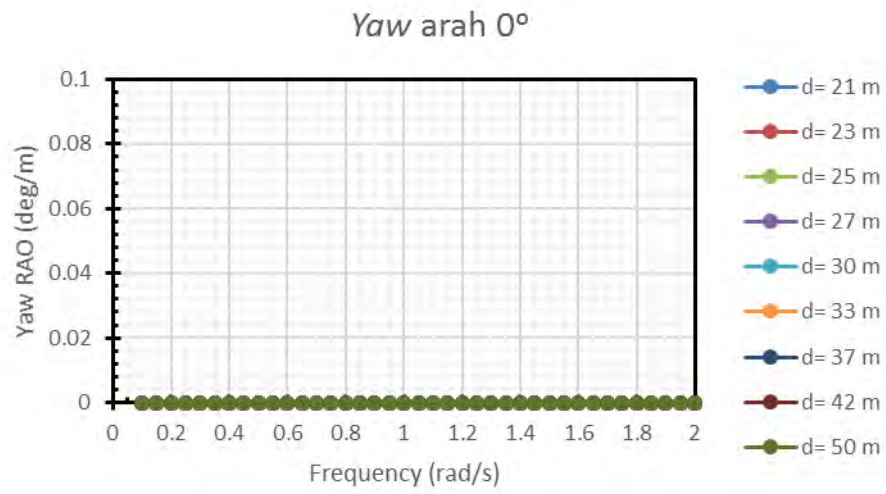


Gambar 4.9 RAO Gerakan *pitch* kapal (a) arah 0°, (b) arah 45°, (c) arah 90°, (d) arah 135°, (e) arah 180°

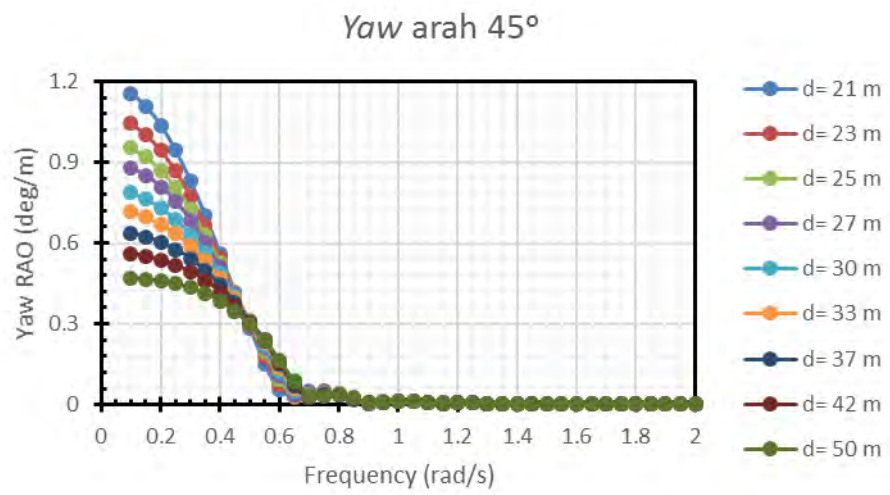
Karakteristik gerakan *pitch* seperti yang ditunjukkan dalam grafik RAO (gambar 4.9) menunjukkan pada frekuensi awal (0.1 rad/sec) RAO *pitch* pada arah pembebanan 0° dan 180° mengalami kenaikan dan mempunyai nilai puncak antara frekuensi 0.25-0.35 rad/sec dengan nilai 0.8 deg/m pada kedalaman 21 m dan 0.7 deg/m pada kedalaman 50 m setelah itu mengalami penurunan nilai hingga pada frekuensi 0.5 rad/sec dan kembali naik pada frekuensi 0.6 rad/sec. setelah kenaikan pada frekuensi 0.6 rad/sec, nilainya mengalami penurunan lagi dan terus konsisten mendekati 0 deg/m hingga pada periode 2 rad/sec. Karakteristik untuk arah 45° dan 135° mempunyai kesamaan karakter namun mempunyai nilai maksimum yang berbeda. Untuk arah 45° nilai maksimumnya mendekati 1 deg/m pada frekuensi 0.4 rad/sec sedangkan arah pembebanan 135° mempunyai nilai maksimum 0.8 deg/m kemudian mengalami penurunan sesuai dengan frekuensinya dan sekali mengalami kenaikan pada frekuensi 0.6 rad/sec lalu turun dan tidak terjadi lagi perubahan harga *pitch* ketika memasuki frekuensi 0.9 rad/sec. Untuk *pitch* arah pembebanan 90° hanya terjadi 1 kali siklus kenaikan yaitu pada frekuensi 0.4-0.6 rad/sec tergantung kedalaman operasi yang mempunyai nilai 0.3-0.35 deg/m.

F. Karakteristik Gerak *Yaw* Kapal

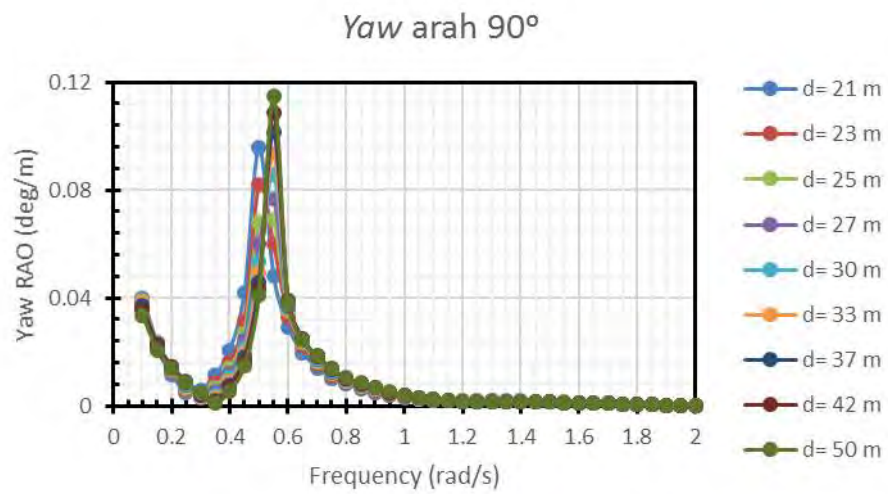
Karakteristik gerak *Yaw* kapal pada masing-masing kedalaman akan ditunjukkan dalam grafik RAO yang terdapat pada Gambar 4.10 di bawah ini.



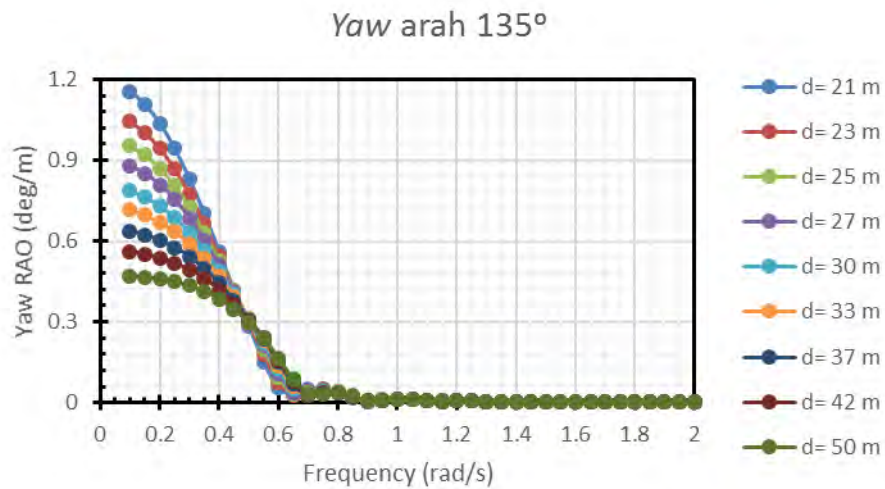
(a)



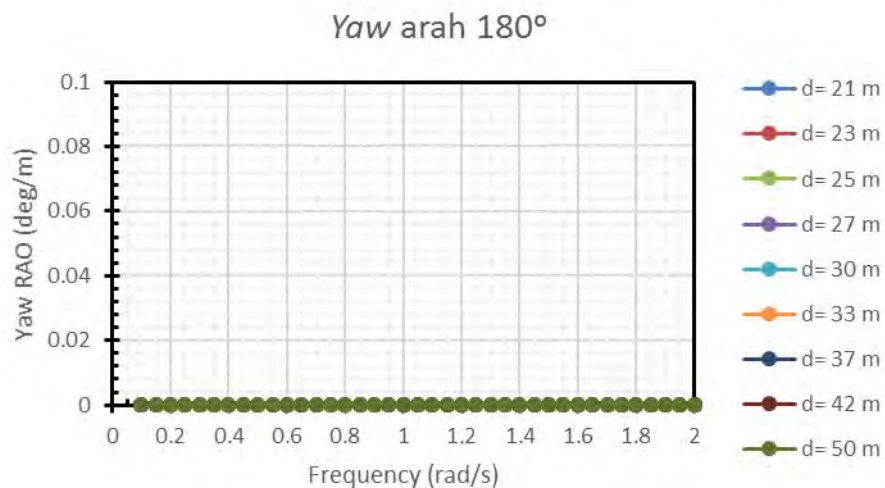
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 4. 10 RAO Gerakan *pitch* kapal (a) arah 0° , (b) arah 45° , (c) arah 90° , (d) arah 135° , (e) arah 180°

Karakteristik gerakan *yaw* seperti yang ditunjukkan dalam grafik RAO (gambar 4.10) menunjukkan pada daerah frekuensi awal (0.1 rad/sec) RAO *yaw* arah pembebanan 0° dan 180° memiliki harga 0 deg/m konsisten hingga frekuensi 2 rad/sec. Untuk arah pembebanan 45° dan 135° memiliki karakteristik yang sama yaitu memiliki nilai maksimum pada frekuensi 0.1 sebesar 1.2 deg/m untuk kedalaman operasi 21 m dan 0.5 deg/m untuk kedalaman operasi 50 m. Setelah memiliki nilai maksimum, RAO gerakan *pitch* sudut 45° dan 135° mengalami penurunan secara konsisten sesuai dengan penambahan nilai frekuensi dan mulai konsisten pada frekuensi 0.65 dan relatif tidak mengalami perubahan nilai hingga

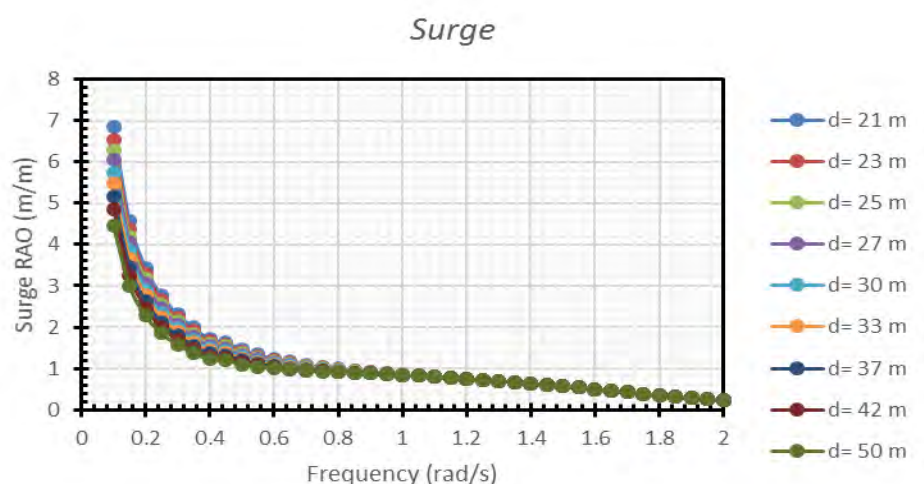
pada frekuensi 2 rad/sec. Untuk RAO *pitch* arah pembebanan 90° memiliki karakteristi yang berbeda. Pada awal frekuensi 0.1 mempunyai nilai 0.04 deg/m untuk semua kedalaman lalu mengalami penurunan hingga pada frekuensi 0.35 rad/sec mempunyai nilai hampir 0 deg/m. Setelah itu kembali mengalami kenaikan nilai dan mendapat nilai maksimum pada frekuensi 0.55 rad/sec dengan nilai maksimum yang berbeda-beda sesuai dengan kedalaman daerah operasi. Setelah mendapat nilai maksimum pada frekuensi 0.55 rad/sec, nilai RAO *pitch* mengalami penurunan dan baru konsisten setelah melewati frekuensi diatas 1 rad/sec. Nilai maksimum dari RAO *pitch* berbeda-beda tergantung dari kedalaman daerah operasi.

2. CALM Buoy

Berbeda dengan kapal, gerakan CALM Buoy dari segala arah pembebanan cenderung sama karena bentuknya yang berupa silinder. Untuk itu cukup dilakukan analisis untuk satu arah pembebanan saja.

A. Karakteristik Gerak Surge CALM Buoy

Karakteristik gerak *surge* CALM Buoy pada masing-masing kedalaman dan arah pembebanan akan ditunjukkan dalam grafik RAO yang terdapat pada Gambar 4.11 di bawah ini.

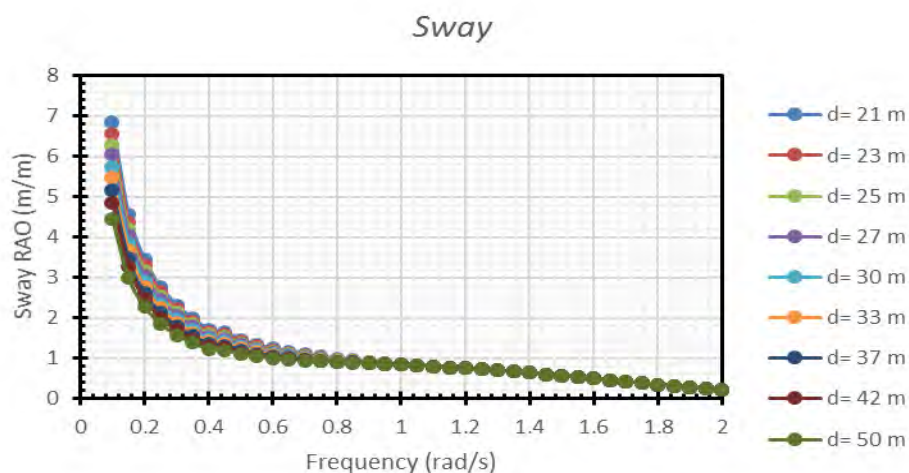


Gambar 4. 11 RAO Gerakan *Surge* CALM Buoy

Karakteristik gerakan *surge* seperti yang ditunjukkan dalam grafik RAO (gambar 4.11) menunjukkan pada daerah frekuensi awal (0.1 rad/sec) RAO *surge* mempunyai harga maksimum sebesar 7 m/m pada frekuensi 0.1 rad/sec untuk kedalaman 21 m dan harga 4.4 m/m untuk kedalaman 50 m. Setelah itu nilai *surge* mengalami penurunan secara bertahap sesuai dengan frekuensi gelombang hingga mempunyai nilai hampir 0 m/m ketika frekuensi gelombang 2 rad/sec. Nilai maksimum *surge* sangat dipengaruhi oleh kedalaman perairan daerah operasi ketika berada pada gelombang dengan frekuensi rendah namun ketika memasuki frekuensi 0.8 rad/sec keatas, nilai dari *surge* relatif sama untuk setiap kedalaman perairan operasi.

B. Karakteristik Gerak *Sway* CALM Buoy

Karakteristik gerak *sway* CALM Buoy pada masing-masing kedalaman akan ditunjukkan dalam grafik RAO yang terdapat pada Gambar 4.12 di bawah ini.



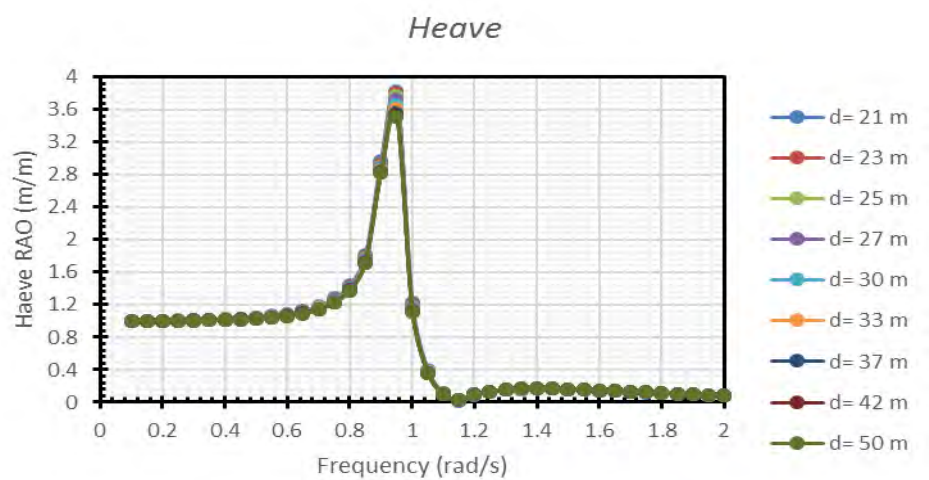
Gambar 4. 12 RAO Gerakan *Sway* CALM Buoy

Karakteristik gerakan *sway* seperti yang ditunjukkan dalam grafik RAO (gambar 4.12) menunjukkan memiliki kesamaan dengan gerakan *surge* yaitu pada daerah frekuensi awal (0.1 rad/sec) RAO *sway* mempunyai harga maksimum sebesar 7 m/m pada frekuensi 0.1 rad/sec untuk kedalaman 21 m dan harga 4.4 m/m untuk kedalaman 50 m. Setelah itu nilai *sway* mengalami penurunan secara bertahap sesuai dengan frekuensi gelombang hingga mempunyai nilai hampir 0

m/m ketika frekuensi gelombang 2 rad/sec. Nilai maksimum *sway* sangat dipengaruhi oleh kedalaman perairan daerah operasi ketika berada pada gelombang dengan frekuensi rendah namun ketika memasuki frekuensi 0.8 rad/sec keatas, nilai dari *sway* relatif sama untuk setiap kedalaman perairan operasi.

C. Karakteristik Gerak *Heave* CALM Buoy

Karakteristik gerak *heave* CALM Buoy pada masing-masing kedalaman akan ditunjukkan dalam grafik RAO yang terdapat pada Gambar 4.13 di bawah ini.

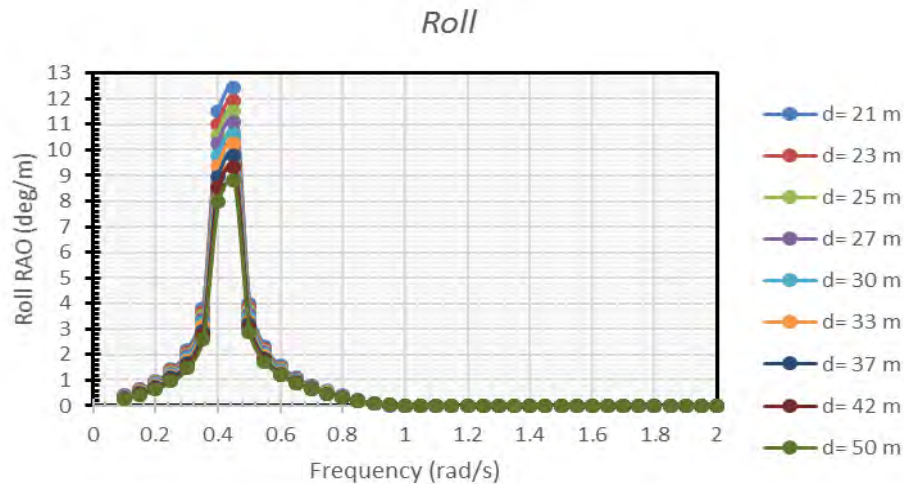


Gambar 4. 13 RAO Gerakan *Heave* CALM Buoy

Karakteristik gerakan *heave* seperti yang ditunjukkan dalam grafik RAO (gambar 4.13) menunjukkan pada daerah frekuensi awal (0.1 rad/sec) RAO *heave* mempunyai nilai awal 0.3 m/m dan terus mengalami penurunan secara konsisten hingga mempunyai harga mendekati 0 m/m pada frekuensi 1.2 rad/sec lalu mulai bergerak naik secara signifikan dan mencapai nilai maksimum pada sekitar frekuensi 1.7 rad/sec dengan nilai sebesar 1 m/m lalu kembali turun secara signifikan hingga memiliki nilai sekitar 0.2 m/m pada frekuensi 2 rad/sec. Nilai dari RAO *heave* pada setiap variasi kedalaman adalah sangat kecil hingga bisa dikatakan memiliki nilai yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa gerakan *heave* tidak dipengaruhi oleh variasi kedalaman perairan daerah operasi.

D. Karakteristik Gerak *Roll* CALM Buoy

Karakteristik gerak *heave* CALM Buoy pada masing-masing kedalaman akan ditunjukkan dalam grafik RAO yang terdapat pada Gambar 4.14 di bawah ini.

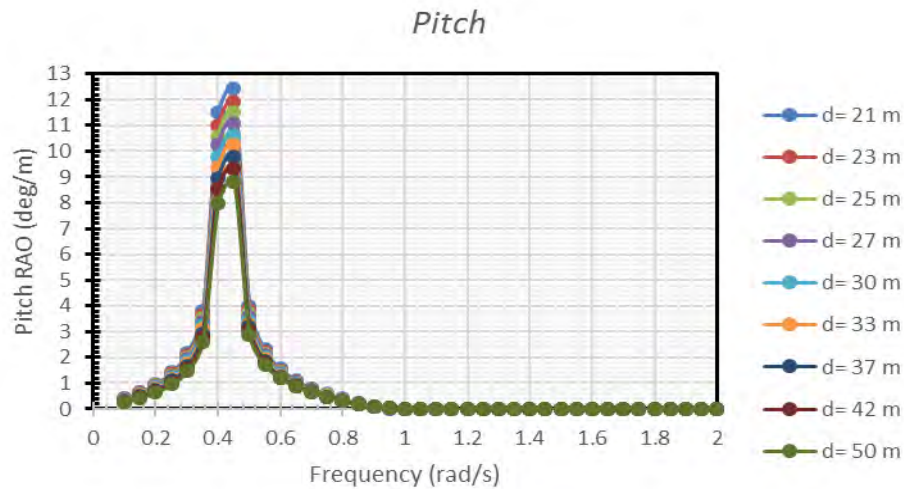


Gambar 4. 14 RAO Gerakan *Roll* CALM Buoy

Karakteristik gerakan *roll* seperti yang ditunjukkan dalam grafik RAO (gambar 4.14) menunjukkan pada daerah frekuensi awal (0.1 rad/sec) RAO *roll* mempunyai nilai mendekati 0 deg/m lalu mengalami kenaikan hingga mencapai nilai maksimum pada frekuensi 0.45 rad/sec sebesar 12.5 deg/m pada kedalaman 21 m dan 8.8 deg/m pada kedalaman 50 m. Setelah mencapai nilai maksimum pada frekuensi 0.45 rad/ sec, besarnya nilai *roll* mengalami penurunan secara signifikan pada frekuensi 0.5 rad/sec pada setiap variasi kedalaman dengan nilai 4 deg/m. Setelah itu berlanjut mengalami penurunan hingga mempunyai nilai hampir 0 deg/ m pada frekuensi 0.9 rad/sec. Setelah itu kembali lagi naik secara perlahan lalu akhirnya kembali turun setelah pada frekuensi 1.6 rad/sec dan terus turun hingga frekuensi 2 dengan nilai 0.5 deg/m.

E. Karakteristik Gerak *Pitch* CALM Buoy

Karakteristik gerak *pitch* CALM Buoy pada masing-masing kedalaman akan ditunjukkan dalam grafik RAO yang terdapat pada Gambar 4.15 di bawah ini.

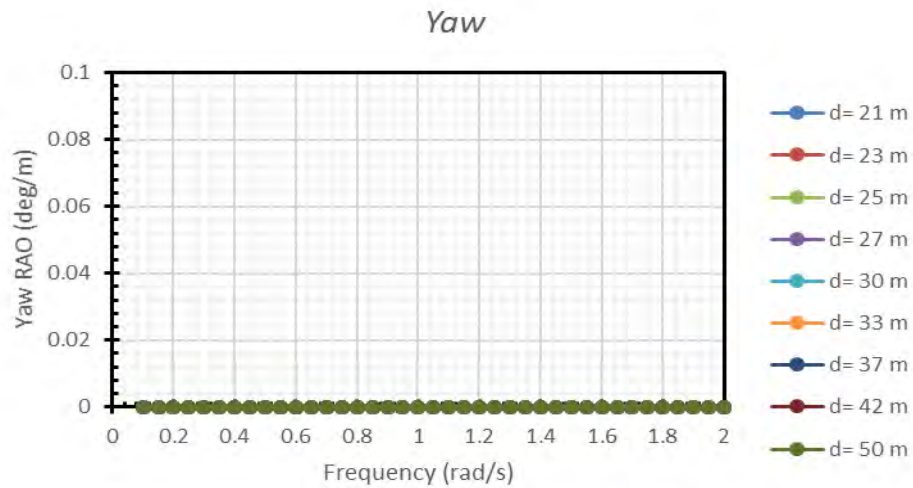


Gambar 4. 15 RAO Gerakan *Pitch* CALM Buoy

Karakteristik gerakan *pitch* seperti yang ditunjukkan dalam grafik RAO (gambar 4.15) menunjukkan pada daerah frekuensi awal (0.1 rad/sec) RAO *pitch* mempunyai nilai mendekati 0 deg/m lalu mengalami kenaikan hingga mencapai nilai maksimum pada frekuensi 0.45 rad/sec sebesar 12.5 deg/m pada kedalaman 21 m dan 8.8 deg/m pada kedalaman 50 m. Setelah mencapai nilai maksimum pada frekuensi 0.45 rad/sec, besarnya nilai *pitch* mengalami penurunan secara signifikan pada frekuensi 0.5 rad/sec pada setiap variasi kedalaman dengan nilai 4 deg/m. Setelah itu berlanjut mengalami penurunan hingga mempunyai nilai hampir 0 deg/m pada frekuensi 0.9 rad/sec. Setelah itu kembali lagi naik secara perlahan lalu akhirnya kembali turun setelah pada frekuensi 1.6 rad/sec dan terus turun hingga frekuensi 2 dengan nilai 0.5 deg/m.

F. Karakteristik Gerak *Yaw* CALM Buoy

Karakteristik gerak *yaw* CALM Buoy pada masing-masing kedalaman akan ditunjukkan dalam grafik RAO yang terdapat pada Gambar 4.16 di bawah ini.



Gambar 4. 16 RAO Gerakan *Yaw* *CALM Buoy*

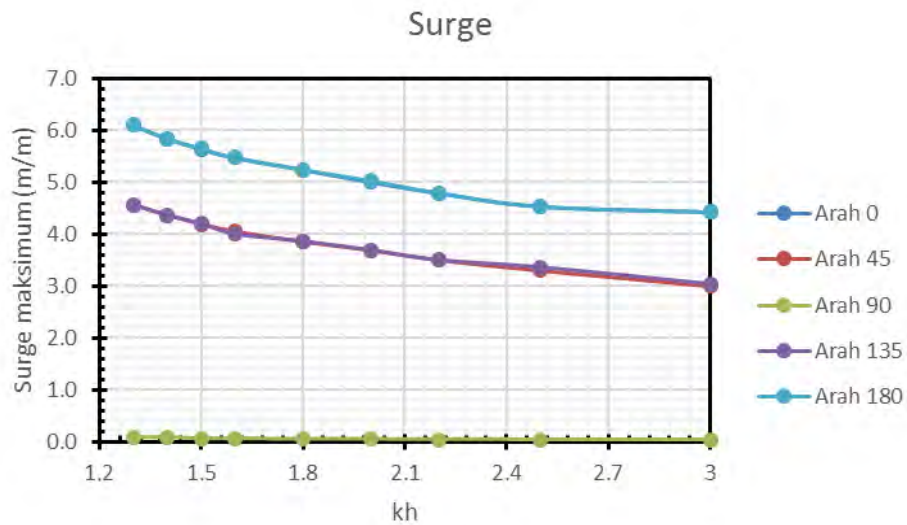
Karakteristik gerakan *yaw* seperti yang ditunjukkan dalam grafik RAO (gambar 4.16) menunjukkan *CALM Buoy* tidak mengalami gerakan *yaw* dikarenakan bentuknya yang silinder sehingga nilai dari *yaw* dari frekuensi 0 rad/sec hingga frekuensi 2 rad/sec mempunyai harga 0 deg/m. Pada dasarnya penentuan jenis gerakan yang terjadi pada *CALM Buoy* tidak bisa disamakan dengan yang terjadi pada kapal karena bentuk dari *CALM Buoy* sendiri yang berupa silinder sehingga gerakan yang terjadi apabila mendapat gaya dari berbagai macam sudut akan memiliki nilai yang sama. Hanya saja dalam analisis yang dilakukan kali ini dipilih suatu titik acuan agar *CALM Buoy* tetap mempunyai gerakan 6 derajat kebebasan agar mempermudah dalam pemahaman maupun dalam analisis.

4.3.2 Tren Perubahan Nilai Gerakan Maksimum Berdasarkan kh dan D/T

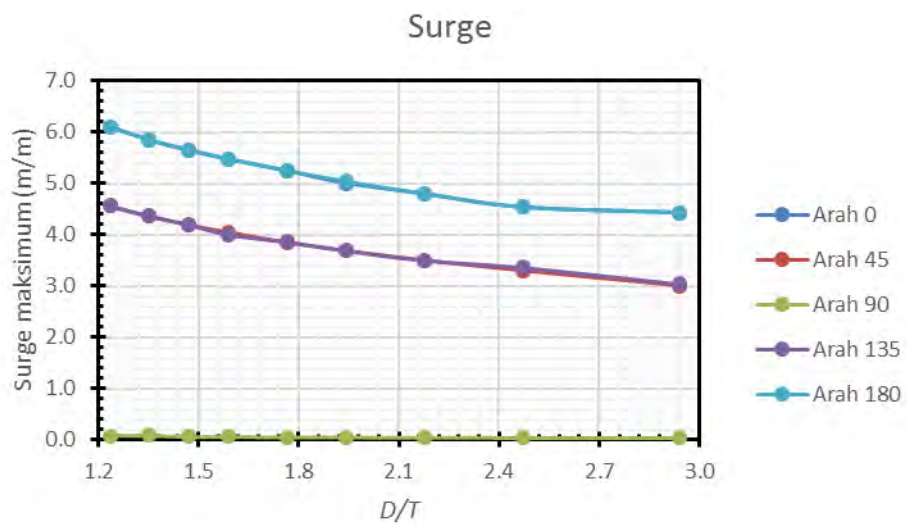
1. Kapal

A. Tren Gerak *Surge* Kapal

Tren gerak *surge* kapal berdasarkan variasi *non dimensional water depth* (kh) dan rasio sarat dengan kedalaman (D/T) dapat dilihat pada Gambar di bawah ini.



(a)



(b)

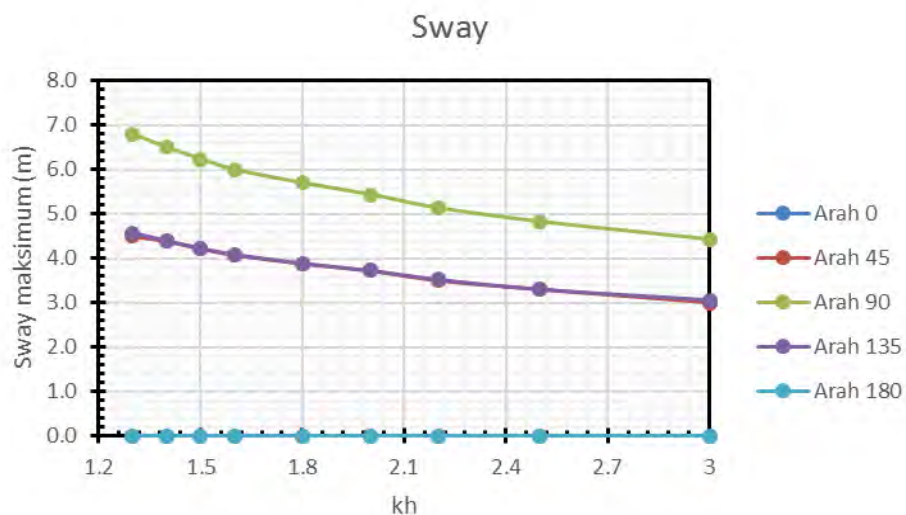
Gambar 4. 17 Tren perubahan nilai RAO tertinggi gerakan *surge* kapal berdasarkan (a) kh dan (b) D/T

Karakteristik tren gerakan *surge* berdasarkan variasi kh seperti yang ditunjukkan dalam grafik nilai maksimum RAO (gambar 4.17) menunjukkan bahwa nilai maksimum gerakan *surge* pada arah pembebanan 0° , 45° , 135° dan 180° sangat dipengaruhi oleh variasi kedalaman. Arah pembebanan 0° dan 180° mempunyai nilai maksimum 6 m/m pada kh 1.3 dan hampir tidak terjadi lagi penurunan nilai ketika memasuki nilai kh diatas 2.8. untuk arah 45° dan 135° mempunyai nilai maksimum 4.5 m/m pada kh 1.3 dan hampir tidak terjadi lagi

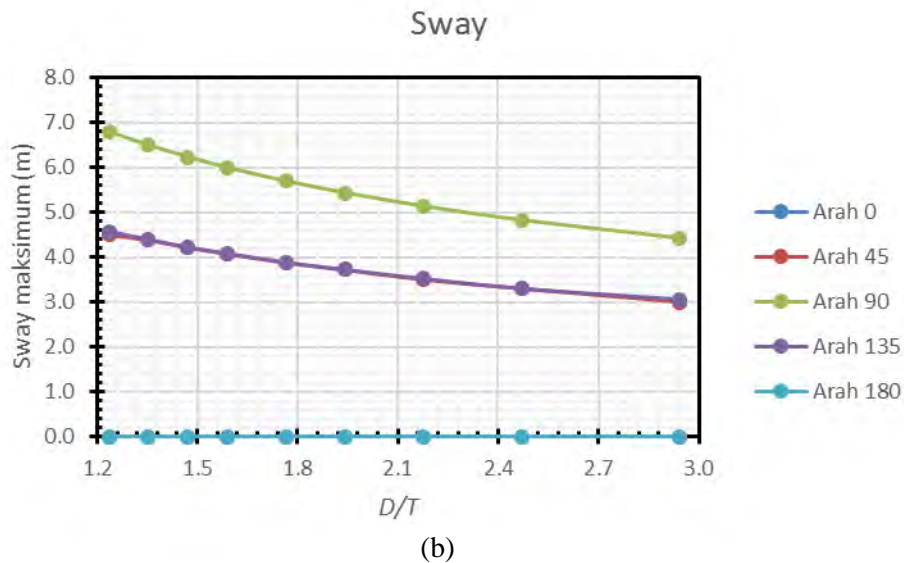
penurunan nilai ketika memasuki nilai kh diatas 2.8 Untuk arah pembebanan 90° cenderung bernilai 0 m/m untuk semua frekuensi dan tidak terpengaruh variasi kedalaman. Hal tersebut dikarenakan perbedaan energi yang bekerja terhadap struktur akibat kedalaman daerah operasinya. Semakin dangkal wilayah operasi, maka energi yang bekerja akan semakin besar. Karakteristik perubahan tren nilai tertinggi gerakan RAO *surge* berdasarkan kh memiliki kesamaan seperti yang terjadi berdasarkan rasio D/T . Perbedaan hanya terjadi pada nilai rasionya, dimana nilai rasio D/T memiliki selisih sebesar 0.1 lebih kecil dari pada nilai kh . Dari grafik (gambar 4.17) menunjukkan bahwa nilai maksimum gerakan *surge* pada rasio D/T pada arah pembebanan 0° , 45° , 135° dan 180° sangat dipengaruhi oleh variasi kedalaman, sedangkan dari arah 90° relatif tidak terjadi gerakan *surge* karena beban gelombang dari arah samping tidak menyebabkan kapal bergerak ke depan maupun ke belakang

B. Tren Gerak Sway Kapal

Tren gerak *sway* kapal berdasarkan variasi *non dimensional water depth* (kh) dan rasio sarat dengan kedalaman (D/T) dapat dilihat pada Gambar 4.18 di bawah ini.



(a)

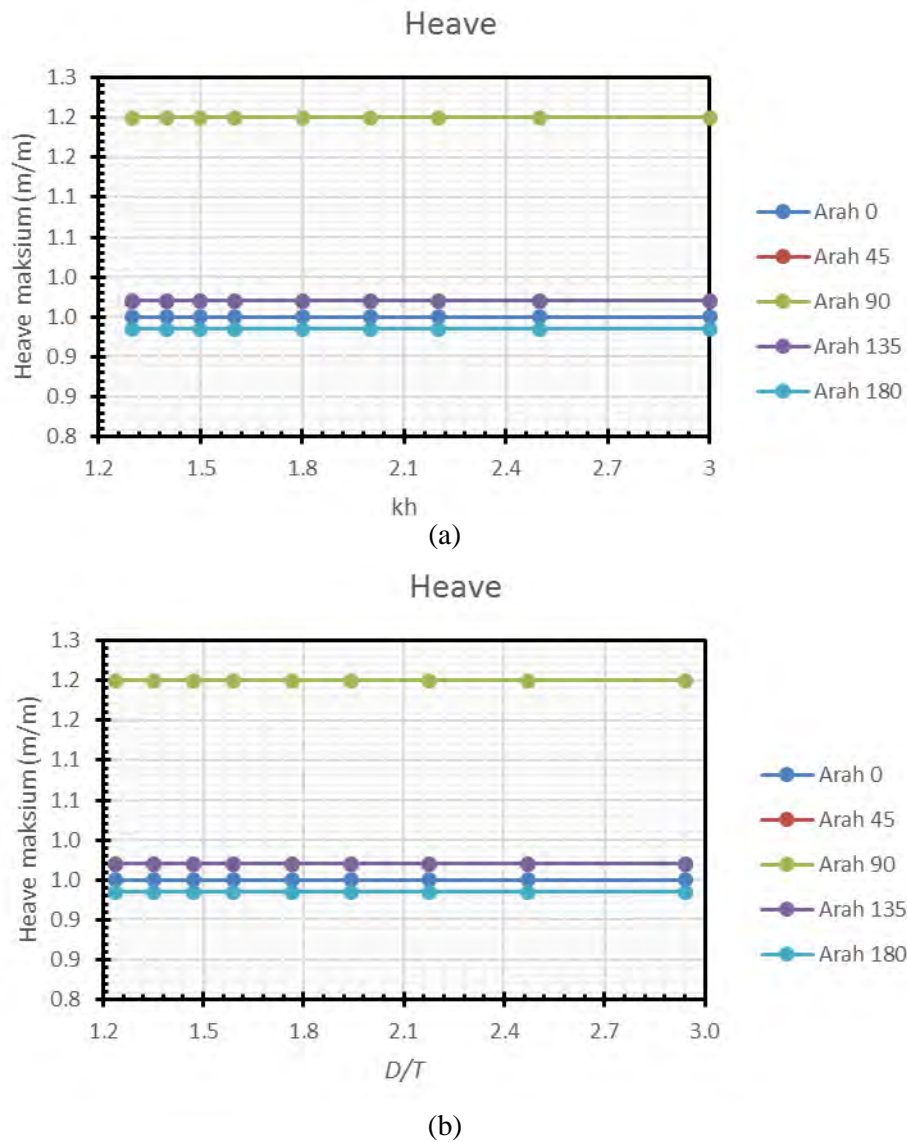


Gambar 4. 18 Tren perubahan nilai RAO tertinggi gerakan *sway* kapal berdasarkan (a) *kh* dan (b) *D/T*

Karakteristik tren gerakan *sway* berdasarkan variasi kedalaman seperti yang ditunjukkan dalam grafik nilai maksimum RAO (gambar 4.18) memiliki tren yang sama dengan gerakan *surge*, perbedaannya hanya terletak dari arah pembebanan. menunjukkan bahwa nilai maksimum gerakan *sway* pada arah pembebanan 45°, 90°, 135° sangat dipengaruhi oleh variasi kedalaman. Arah pembebanan 90° mempunyai nilai maksimum 6.8 m/m pada *kh* 1.3 dan hampir tidak terjadi lagi penurunan nilai ketika memasuki nilai *kh* diatas 2.9. untuk arah 45° dan 135° mempunyai nilai maksimum 4.5 m/m pada *kh* 1.3 dan hampir tidak terjadi lagi penurunan nilai ketika memasuki nilai *kh* diatas 2.9 Untuk arah pembebanan 0° dan 180° cenderung bernilai 0 m/m untuk semua frekuensi dan tidak terpengaruh variasi kedalaman. Hal tersebut dikarenakan perbedaan energi yang bekerja terhadap struktur akibat kedalaman daerah operasinya. Semakin dangkal wilayah operasi, maka energi yang bekerja akan semakin besar. Karakteristik perubahan tren nilai tertinggi gerakan RAO *sway* berdasarkan *kh* memiliki kesamaan seperti yang terjadi berdasarkan rasio *D/T*. Perbedaan hanya terjadi pada nilai rasionya, dimana nilai rasio *D/T* memiliki selisih sebesar 0.1 lebih kecil dari pada nilai *kh*.

C. Tren Gerak *Heave* Kapal

Tren gerak *heave* kapal berdasarkan variasi *non dimensional water depth* (kh) dan rasio sarat dengan kedalaman (D/T) dapat dilihat pada Gambar 4.19 di bawah ini.



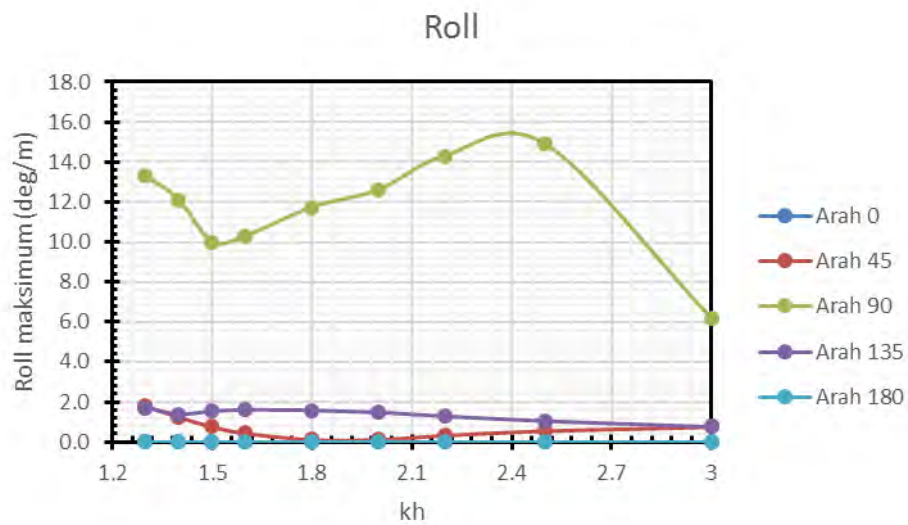
Gambar 4. 19 Tren perubahan nilai RAO tertinggi gerakan *heave* kapal berdasarkan (a) kh dan (b) D/T

Ditunjukkan dalam grafik nilai maksimum RAO (gambar 4.19) mengalami perubahan yang tidak begitu signifikan untuk setiap nilai kh . Nilai awal dari setiap arah pembebanan tetap sama untuk semua variasi nilai kh . Karakteristik perubahan

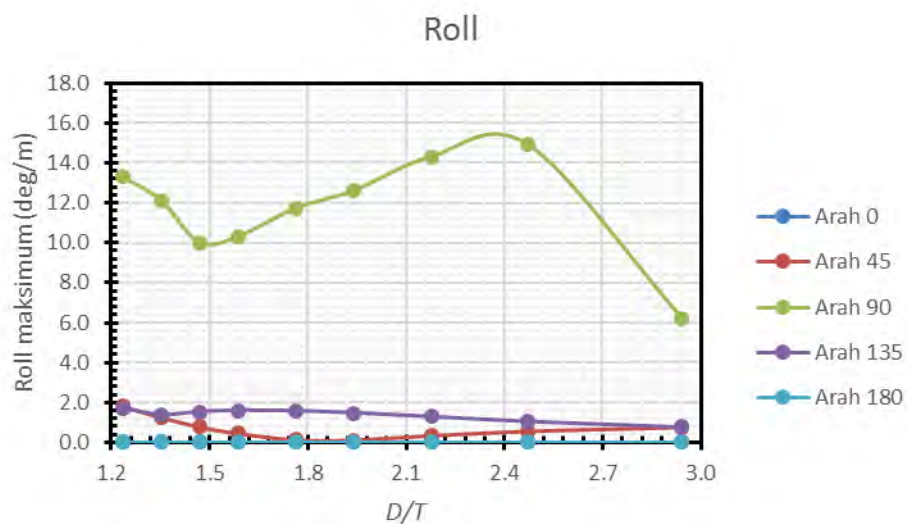
tren nilai tertinggi gerakan RAO *heave* berdasarkan kh memiliki kesamaan seperti yang terjadi berdasarkan rasio D/T .

D. Tren Gerak *Roll* Kapal

Tren gerak *roll* kapal berdasarkan variasi *non dimensional water depth* (kh) dan rasio sarat dengan kedalaman (D/T) dapat dilihat pada Gambar 4.20 di bawah ini.



(a)



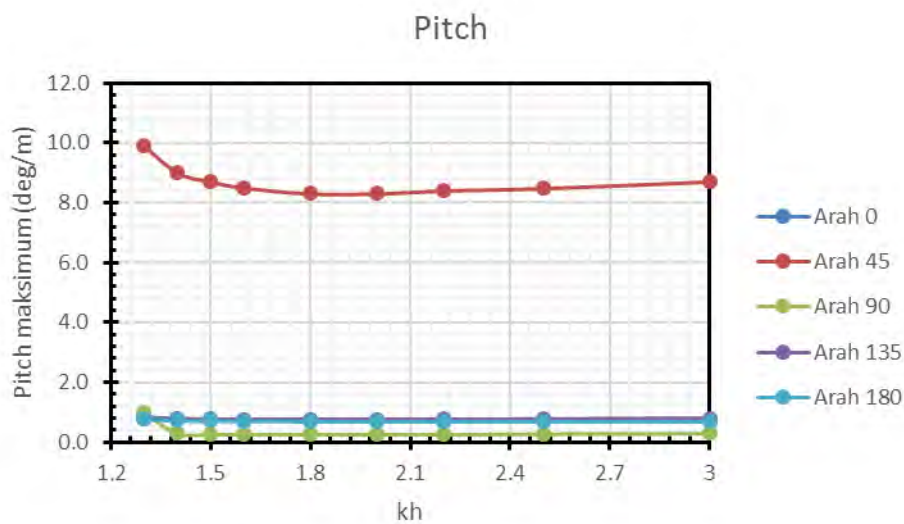
(b)

Gambar 4. 20 Tren perubahan nilai RAO tertinggi gerakan *roll* kapal berdasarkan (a) kh dan (b) D/T

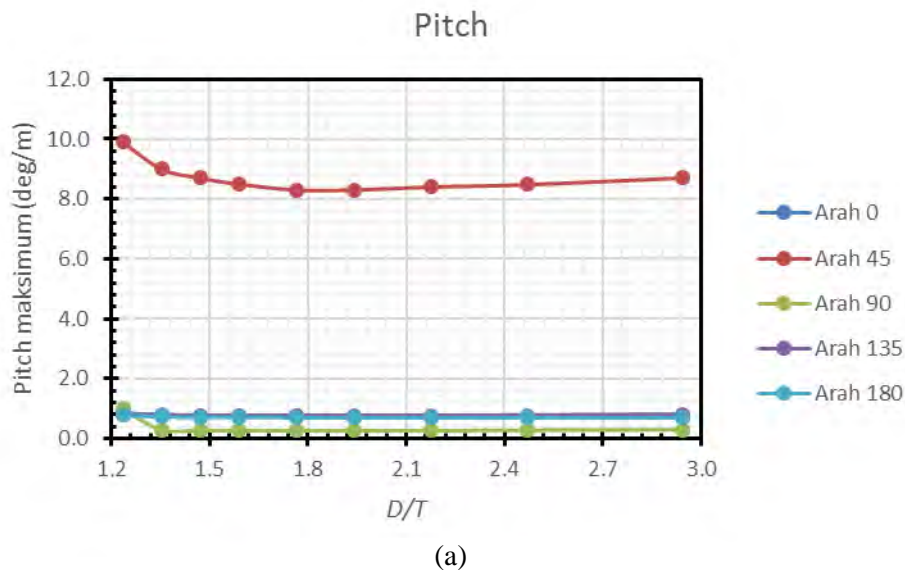
Karakteristik tren gerakan *roll* berdasarkan variasi kedalaman seperti yang ditunjukkan dalam grafik nilai maksimum RAO (gambar 4.20) mempunyai tren nilai tertinggi yang berbeda dari gerakan-gerakan sebelumnya yaitu tidak berdasarkan variasi kedalaman melainkan berdasarkan frekuensi gelombang. Gerakan *roll* terbesar berasal dari arah pembebanan 90° pada kh 2.4. Sedangkan untuk keempat arah pembebanan lain nilainya kurang dari 2 deg/m untuk semua variasi kedalaman. Karakteristik perubahan tren nilai tertinggi gerakan RAO *roll* berdasarkan kh memiliki kesamaan seperti yang terjadi berdasarkan rasio D/T . Perbedaan hanya terjadi pada nilai rasionya, dimana nilai rasio D/T memiliki selisih sebesar 0.1 lebih kecil dari pada nilai kh . Untuk nilai tertinggi gerakan *roll* berdasarkan D/T berada pada rasio 2.3. Nilai tertinggi tren gerakan *roll* berdasarkan variasi kedalaman kh maupun D/T sama-sama tidak dipengaruhi oleh kedalaman melainkan lebih dipengaruhi oleh frekuensi dari gelombang.

E. Tren Gerak *Pitch* Kapal

Tren gerak *pitch* kapal berdasarkan variasi *non dimensional water depth* (kh) dan rasio sarat dengan kedalaman (D/T) dapat dilihat pada Gambar 4.21 di bawah ini.



(a)

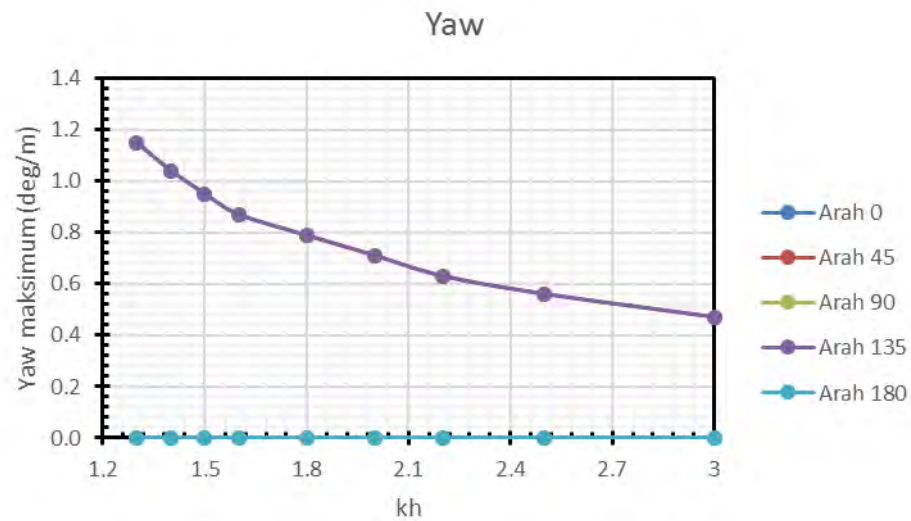


Gambar 4. 21 Tren perubahan nilai RAO tertinggi gerakan *pitch* kapal berdasarkan (a) kh dan (b) D/T

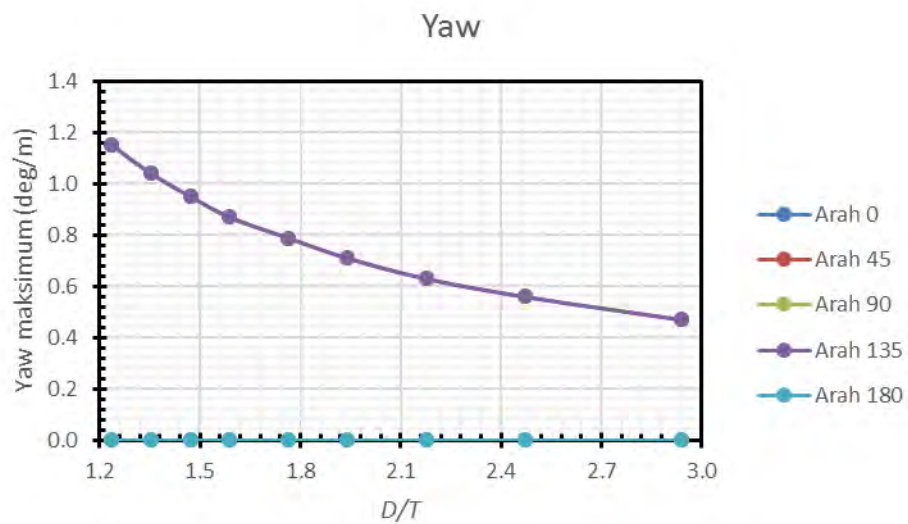
Karakteristik tren gerakan *pitch* berdasarkan variasi kedalaman seperti yang ditunjukkan dalam grafik nilai maksimum RAO (gambar 4.21) mempunyai nilai maksimum tidak berdasarkan variasi kedalaman melainkan berdasarkan frekuensi gelombang dimana karakteristiknya hampir sama dengan gerakan *roll*. Gerakan terbesar berada pada arah pembebanan 45° dan 135° yang berada pada kh 1.3 lalu menurun dan kembali naik secara konsisten ketika nilai kh diatas 2.2. Untuk arah pembebanan lain nilainya cenderung tidak terpengaruh oleh variasi kedalaman, hanya untuk arah pembebanan 90° yang sekali mengalami penurunan ketika memasuki nilai kh 1.4 lalu terus konsisten hingga pada nilai kh 3. Karakteristik perubahan tren nilai tertinggi gerakan RAO *pitch* berdasarkan kh memiliki kesamaan seperti yang terjadi berdasarkan rasio D/T . Perbedaan hanya terjadi pada nilai rasionya, dimana nilai rasio D/T memiliki selisih sebesar 0.1 lebih kecil dari pada nilai kh .

F. Tren Gerak Yaw Kapal

Tren gerak yaw kapal berdasarkan variasi *non dimensional water depth* (kh) dan rasio sarat dengan kedalaman (D/T) dapat dilihat pada Gambar 4.22 di bawah ini.



(a)



(b)

Gambar 4. 22 Tren perubahan nilai RAO tertinggi gerakan yaw kapal berdasarkan (a) kh dan (b) D/T

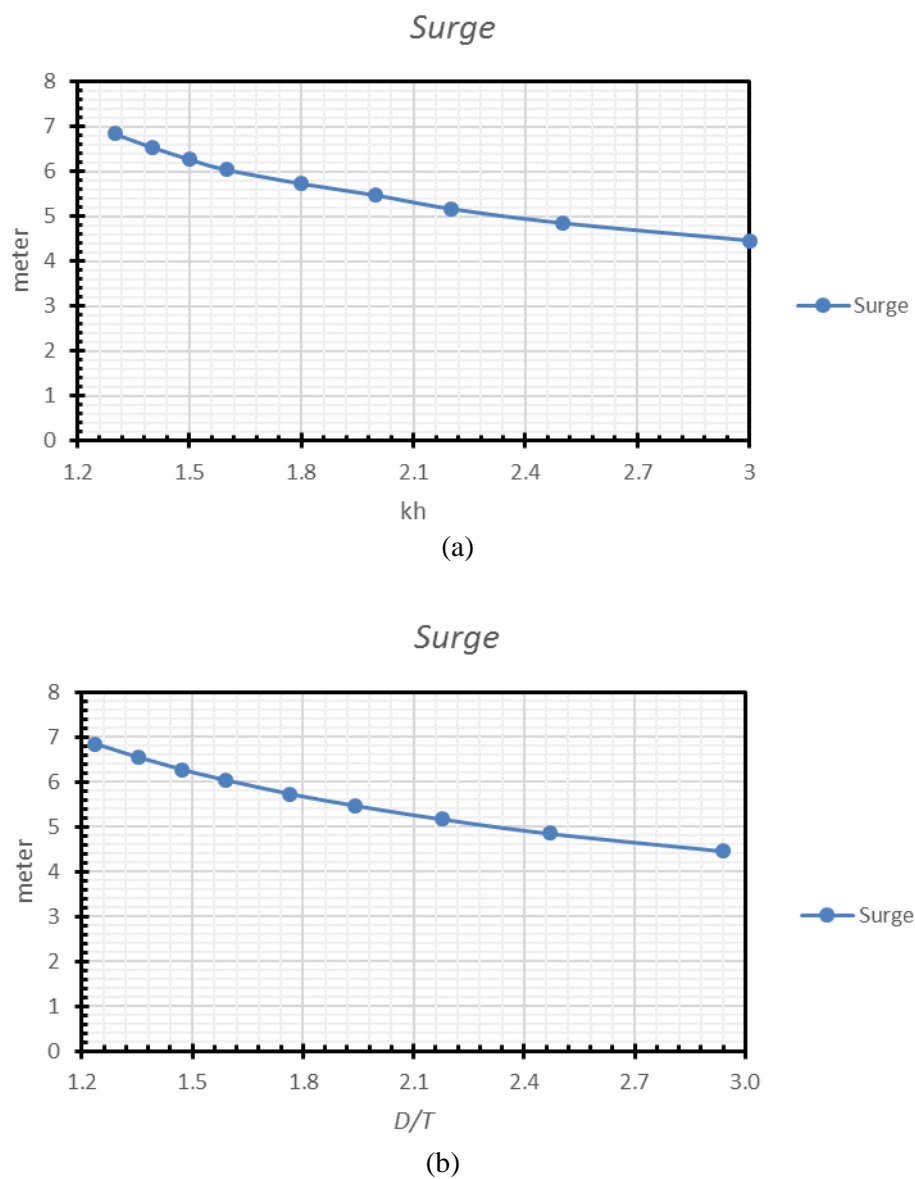
Karakteristik tren gerakan yaw berdasarkan variasi kedalaman seperti yang ditunjukkan dalam grafik nilai maksimum RAO (gambar 4.22) mempunyai tren penurunan nilai maksimum berdasarkan variasi kh pada arah pembebanan 45° dan 135° dimana pada kh 1.3 mempunyai nilai hampir 1.2 deg/m dan terus turun secara konsisten hingga pada kh 3 bernilai 0.45 deg/sec. untuk arah pembebanan lain relatif tidak terjadi gerakan yaw. Karakteristik perubahan tren nilai tertinggi

gerakan RAO *yaw* berdasarkan kh memiliki kesamaan seperti yang terjadi berdasarkan rasio D/T .

2. CALM Buoy

A. Tren Gerak *Surge* CALM Buoy

Tren gerak *surge* CALM Buoy berdasarkan variasi *non dimensional water depth* (kh) dan rasio sarat dengan kedalaman (D/T) dapat dilihat pada Gambar 4.23 di bawah ini.

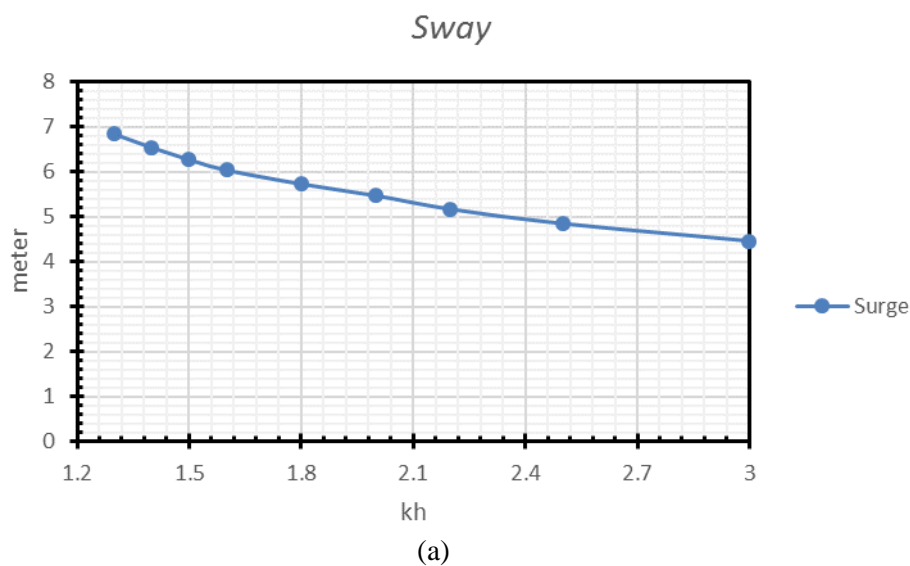


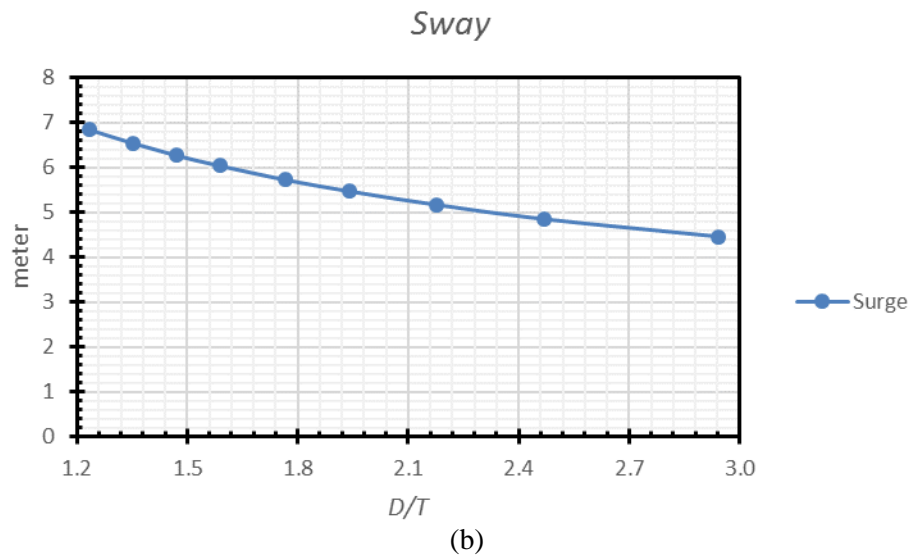
Gambar 4. 23 Tren perubahan nilai RAO tertinggi gerakan *surge* CALM Buoy berdasarkan (a) kh dan (b) D/T

Karakteristik tren gerakan *surge* berdasarkan variasi kedalaman seperti yang ditunjukkan dalam grafik nilai maksimum RAO (gambar 4.23) memiliki nilai tertinggi pada kh 1.3 dengan nilai mendekati 7 m/m dan terus turun secara konsisten sesuai dengan perubahan nilai kedalaman. Nilai akhir *surge* tertinggi memiliki nilai sebesar 4.5 m/m pada kh 3, hal menunjukkan bahwa karakteristik nilai tertinggi RAO gerakan *surge* sangat dipengaruhi oleh variasi kedalaman. Karakteristik perubahan tren nilai tertinggi gerakan RAO *surge* berdasarkan kh memiliki kesamaan seperti yang terjadi berdasarkan rasio D/T . Perbedaan hanya terjadi pada nilai rasionya, dimana nilai rasio D/T memiliki selisih sebesar 0.1 lebih kecil dari pada nilai kh . Analisis yang dilakukan hanya berdasarkan satu arah pembebanan saja. Hal ini dikarenakan bentuk dari *CALM Buoy* yang berupa silinder akan mempunyai nilai gerak yang sama dari semua arah pembebanan. Dalam kasus ini diambil nilai gerakan pada arah yang menyebabkan *CALM Buoy* memiliki nilai RAO tertinggi berdasarkan titik acuan analisis.

B. Tren Gerak *Sway* CALM Buoy

Tren gerak *sway* CALM Buoy berdasarkan variasi *non dimensional water depth* (kh) dan rasio sarat dengan kedalaman (D/T) dapat dilihat pada Gambar 4.24 di bawah ini.



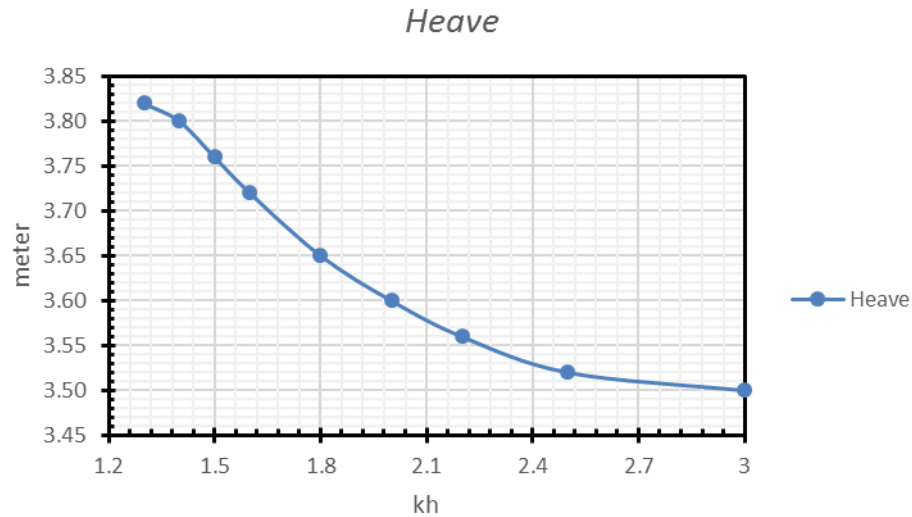


Gambar 4. 24 Tren perubahan nilai RAO tertinggi gerakan *sway* CALM Buoy berdasarkan (a) *kh* dan (b) *D/T*

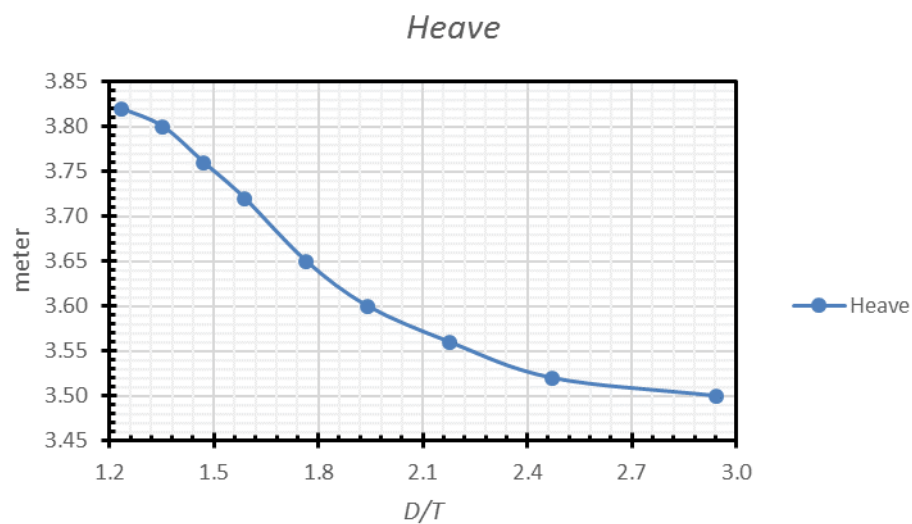
Karakteristik tren gerakan *sway* berdasarkan variasi kedalaman seperti yang ditunjukkan dalam grafik nilai maksimum RAO (gambar 4.24) memiliki kesamaan nilai dan karakteristik dengan gerakan *surge*. Nilai maksimum pada *kh* 1.3 dengan nilai 7 m/m dan terus turun secara konsisten sesuai dengan perubahan nilai kedalaman. Nilai akhir *sway* 4.5 m/m pada *kh* 3 menunjukkan bahwa karakteristik gerakan *sway* sangat dipengaruhi oleh variasi kedalaman. Nilai dan karakteristik gerakan *surge* dan *sway* pada *CALM Buoy* sangat identik dikarenakan sebenarnya gerakan tersebut adalah sama, hanya saja yang membedakannya adalah titik acuan dalam analisis. Karakteristik perubahan tren nilai tertinggi gerakan RAO *sway* berdasarkan *kh* memiliki kesamaan seperti yang terjadi berdasarkan rasio *D/T*. Perbedaan hanya terjadi pada nilai rasionya, dimana nilai rasio *D/T* memiliki selisih sebesar 0.1 lebih kecil dari pada nilai *kh*. Analisis yang dilakukan hanya berdasarkan satu arah pembebanan saja. Hal ini dikarenakan bentuk dari *CALM Buoy* yang berupa silinder akan mempunyai nilai gerak yang sama dari semua arah pembebanan.

C. Tren Gerak *Heave* CALM Buoy

Tren gerak *heave* CALM Buoy berdasarkan variasi *non dimensional water depth* (kh) dan rasio sarat dengan kedalaman (D/T) dapat dilihat pada Gambar 4.25 di bawah ini.



(a)



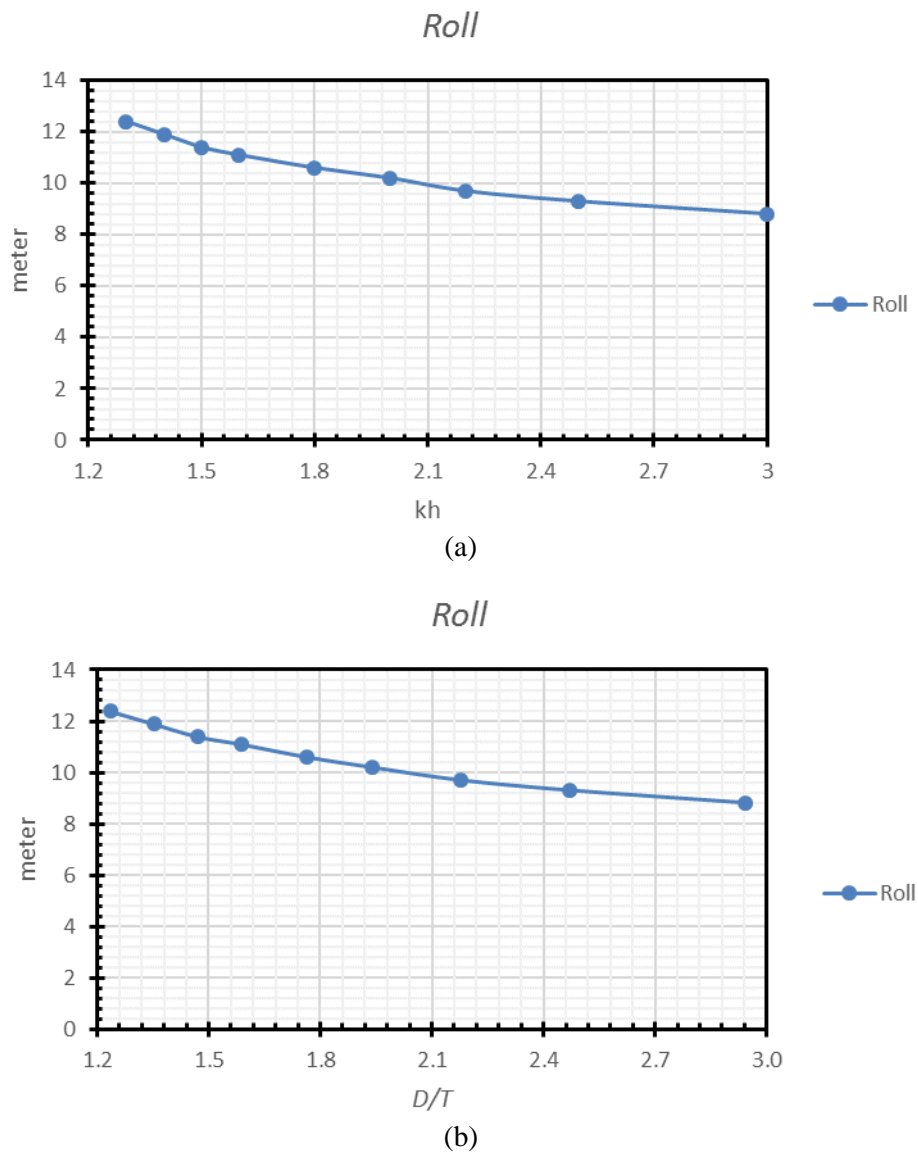
(b)

Gambar 4. 25 Tren perubahan nilai RAO tertinggi gerakan *heave* CALM Buoy berdasarkan (a) kh dan (b) D/T

Karakteristik tren gerakan *heave* berdasarkan variasi kedalaman seperti yang ditunjukkan dalam grafik nilai maksimum RAO (gambar 4.25) menunjukkan nilai dari RAO *heave* tidak dipengaruhi oleh kedalaman daerah operasi. *heave* pada *kh* dan *D/T* semua kedalaman mempunyai nilai yang sama yaitu 1.3 m/m.

D. Tren Gerak *Roll* CALM Buoy

Tren gerak *roll* CALM Buoy berdasarkan variasi *non dimensional water depth* (*kh*) dan rasio sarat dengan kedalaman (*D/T*) dapat dilihat pada Gambar 4.26 di bawah ini.

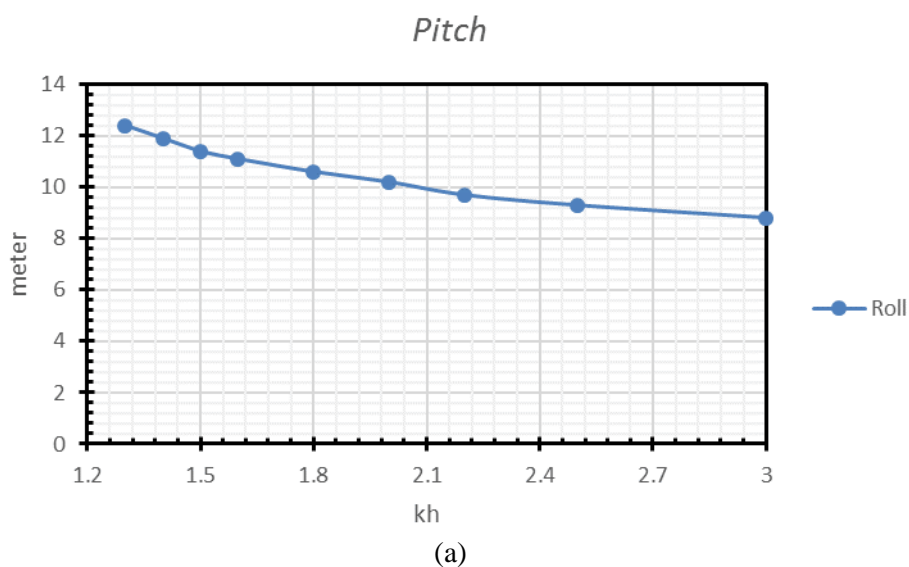


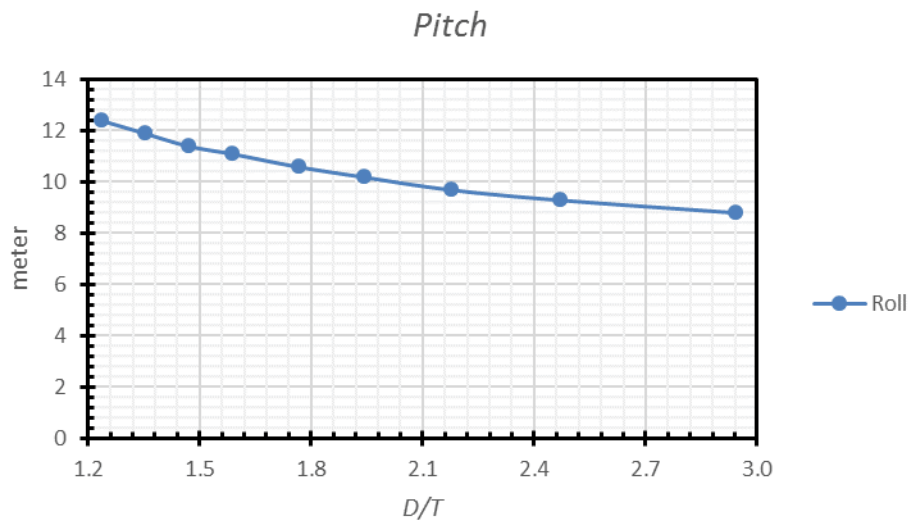
Gambar 4. 26 Tren perubahan nilai RAO tertinggi gerakan *roll* CALM Buoy berdasarkan (a) *kh* dan (b) *D/T*

Karakteristik tren gerakan *roll* berdasarkan variasi kedalaman seperti yang ditunjukkan dalam grafik nilai maksimum RAO (gambar 4.26) menunjukkan nilai maksimum *roll* dipengaruhi oleh variasi kealaman dengan nilai pada kh 1.3 sebesar 12.5 deg/m terus menurun seiring perubahan kedalaman hingga pada kh 3 mempunyai nilai sebesar 8.5 deg/m. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik gerakan *roll* pada CALM Buoy sangat dipengaruhi oleh variasi kedalaman daerah operasi. Karakteristik perubahan tren nilai tertinggi gerakan RAO *sway* berdasarkan kh memiliki kesamaan seperti yang terjadi berdasarkan rasio D/T . Perbedaan hanya terjadi pada nilai rasionya, dimana nilai rasio D/T memiliki selisih sebesar 0.1 lebih kecil dari pada nilai kh . Hasil *roll* dari CALM Buoy berbeda dengan kapal dimana pada kapal tren nilai tertinggi RAO *roll* lebih dipengaruhi oleh frekuensi gelombang sedangkan untuk tren nilai tertinggi RAO dari CALM Buoy lebih dipengaruhi oleh kedalaman perairan. Hal ini mungkin saja disebabkan oleh bentuk geometris dari bangunan apung tersebut.

E. Tren Gerak *Pitch* CALM Buoy

Tren gerak *pitch* CALM Buoy berdasarkan variasi *non dimensional water depth* (kh) dan rasio sarat dengan kedalaman (D/T) dapat dilihat pada Gambar 4.27 di bawah ini.





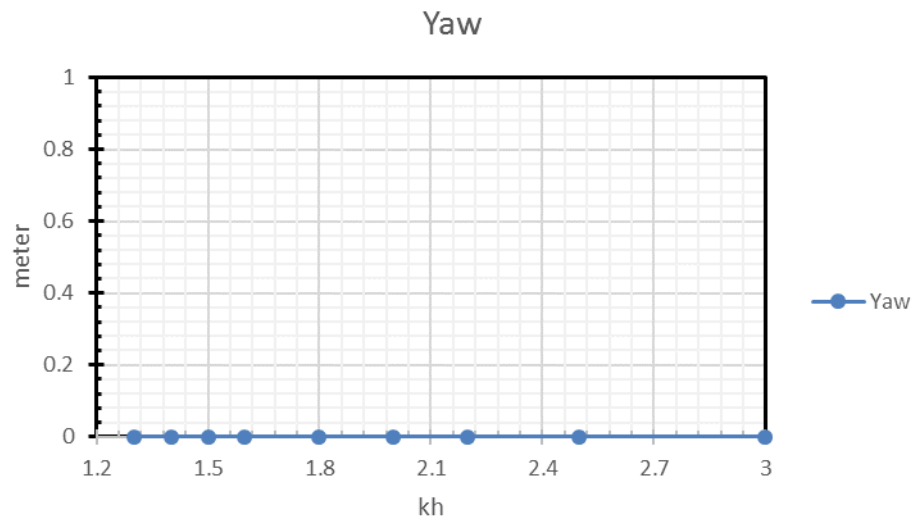
(b)

Gambar 4. 27 Tren perubahan nilai RAO tertinggi gerakan *pitch* CALM Buoy berdasarkan (a) *kh* dan (b) *D/T*

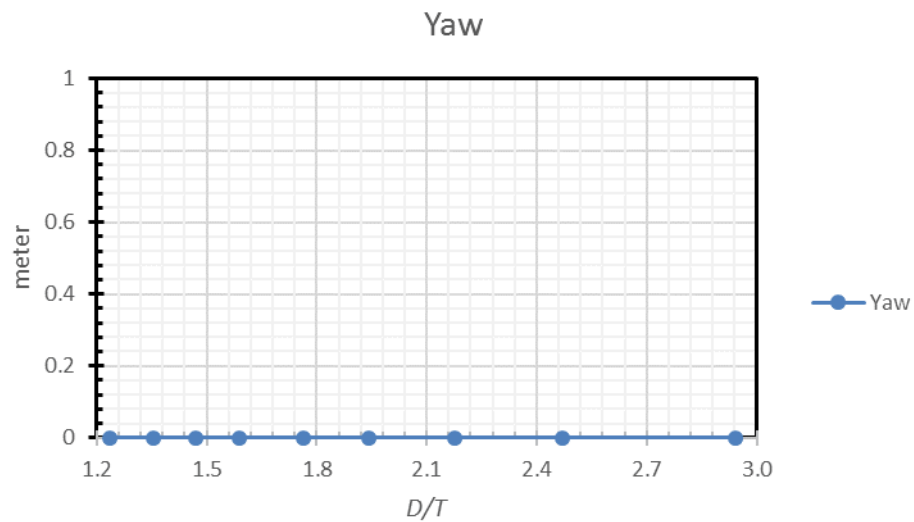
Karakteristik tren gerakan *pitch* berdasarkan variasi kedalaman seperti yang ditunjukkan dalam grafik nilai maksimum RAO (gambar 4.27) menunjukkan nilai yang sama dengan karakteristik gerakan *roll*. Nilai maksimum *pitch* dipengaruhi oleh variasi kealaman dengan nilai pada *kh* 1.3 sebesar 12.5 deg/m terus menurun seiring perubahan kedalaman hingga pada *kh* 3 mempunyai nilai sebesar 8.5 deg/m. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik gerakan *pitch* pada CALM Buoy sangat dipengaruhi oleh variasi kedalaman daerah operasi. Karakteristik perubahan tren nilai tertinggi gerakan RAO *pitch* berdasarkan *kh* memiliki kesamaan seperti yang terjadi berdasarkan rasio *D/T*. Perbedaan hanya terjadi pada nilai rasionya, dimana nilai rasio *D/T* memiliki selisih sebesar 0.1 lebih kecil dari pada nilai *kh*. Analisis yang dilakukan hanya berdasarkan satu arah pembebanan saja. Hal ini dikarenakan bentuk dari CALM Buoy yang berupa silinder akan mempunyai nilai gerak yang sama dari semua arah pembebanan.

F. Tren Gerak Yaw CALM Buoy

Tren gerak yaw CALM Buoy berdasarkan variasi kedalaman (*kh*) dapat dilihat pada Gambar 4.28 di bawah ini.



(a)



(b)

Gambar 4. 28 Tren perubahan nilai RAO tertinggi gerakan yaw CALM Buoy berdasarkan (a) kh dan (b) D/T

Karakteristik tren gerakan yaw berdasarkan variasi kedalaman seperti yang ditunjukkan dalam grafik nilai maksimum RAO (gambar 4.28) menunjukkan nilai gerakan yaw tidak dipengaruhi oleh variasi kedalaman dan karakteristik gerakan yaw pada CALM Buoy cenderung bernilai 0 deg/m karena berbentuk silinder. Karakteristik perubahan tren nilai tertinggi gerakan RAO yaw berdasarkan D/T memiliki memiliki nilai yang sama dengan kh .

4.4 ANALISIS PERILAKU GERAK KAPAL DAN *CALM BUOY* PADA GELOMBANG ACAK

4.4.1 Analisis Spektra Gelombang

Pemilihan jenis spektrum gelombang yang akan digunakan harus disesuaikan dengan kondisi dimana struktur akan beroperasi. Dari beberapa jenis spektrum gelombang yang ada, dipilihlah spektrum gelombang JONSWAP karena perairan tempat struktur beroperasi yang berada pada wilayah lepas pantai Tuban merupakan wilayah perairan tertutup. Selain itu, pada DNV RP C205 juga dijelaskan bahwa spektrum JONSWAP diaplikasikan pada perairan dengan :

$$3.6 < T_p / (H_s)^{1/2} < 5$$

Dan untuk perairan lepas pantai Tuban memiliki nilai:

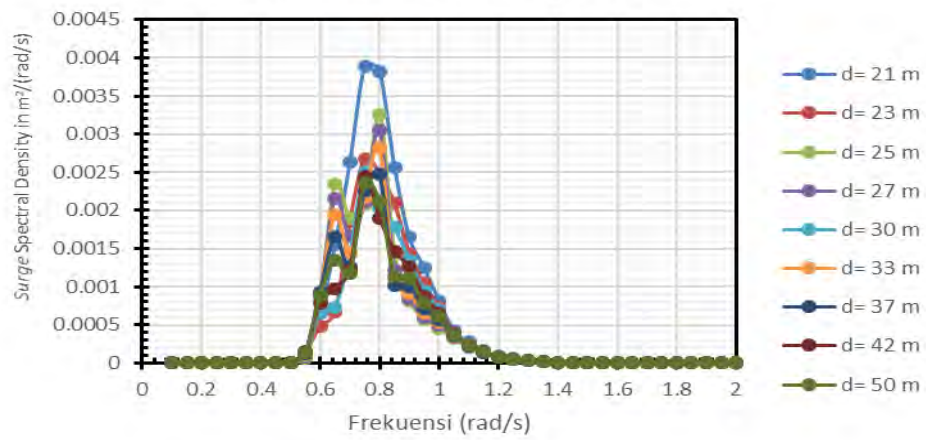
$$\begin{aligned} T_p / (H_s)^{1/2} &= 6.9 / (6.9)^{0.5} \\ &= 3.92 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan respon spektra dari struktur dapat dihitung menggunakan persamaan 2.11 yaitu dengan dengan cara mengkuadratkan respon gerak struktur pada gelombang reguler lalu mengkalikannya dengan jenis spektra gelombang yang digunakan, sehingga didapat spektra respon. Nilai spektra respon yang akan dianalisis dalam penelitian ini adalah nilai signifikan (1/3 tertinggi)

4.4.2 Analisis Perilaku Gerak Kapal dan *CALM Buoy* Kondisi *Free Floating* Pada Gelombang Acak

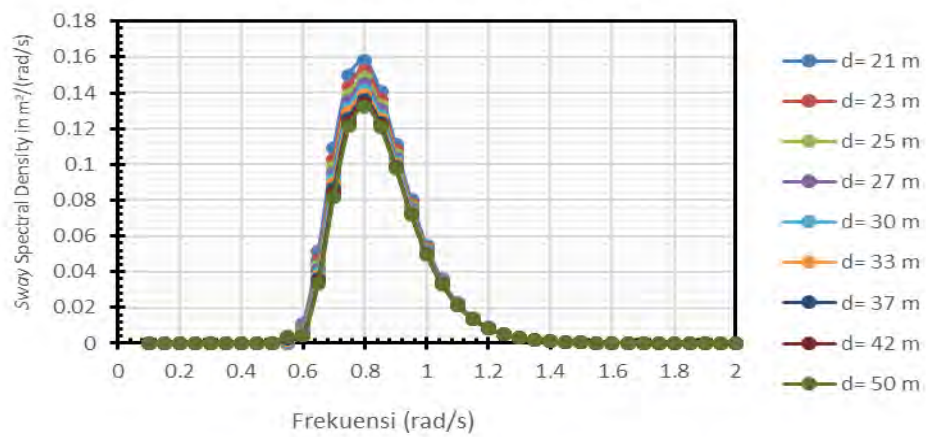
Analisis respon gerak struktur kapal dan *CALM Buoy* pada gelombang acak pada penelitian ini hanya mengambil analisis berdasarkan arah pembebanan yang menyebabkan struktur mengalami gerakan dengan nilai paling besar. Untuk gerakan *surge* diambil arah pembebanan 180°, gerakan *sway*, *heave* dan *roll* diambil arah pembebanan 90°, dan untuk *pitch* dan *yaw* diambil arah pembebanan 135°. Gambar 4.29 di bawah ini menunjukkan hasil spektra respon untuk masing-masing kedalaman.

Spektra Respon *Surge* kapal



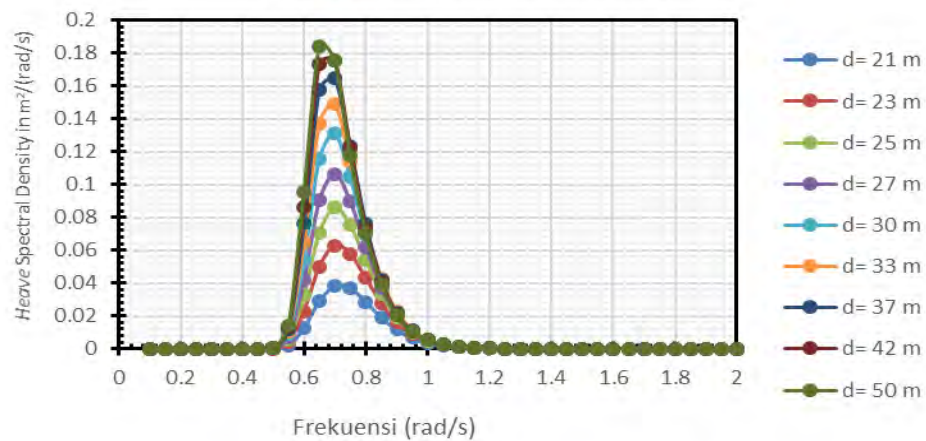
(a)

Spektra Respon *Sway* kapal

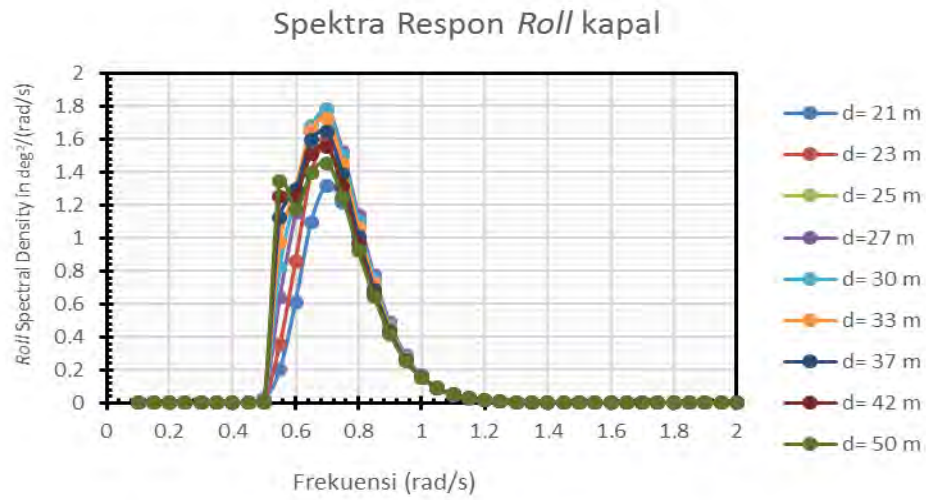


(b)

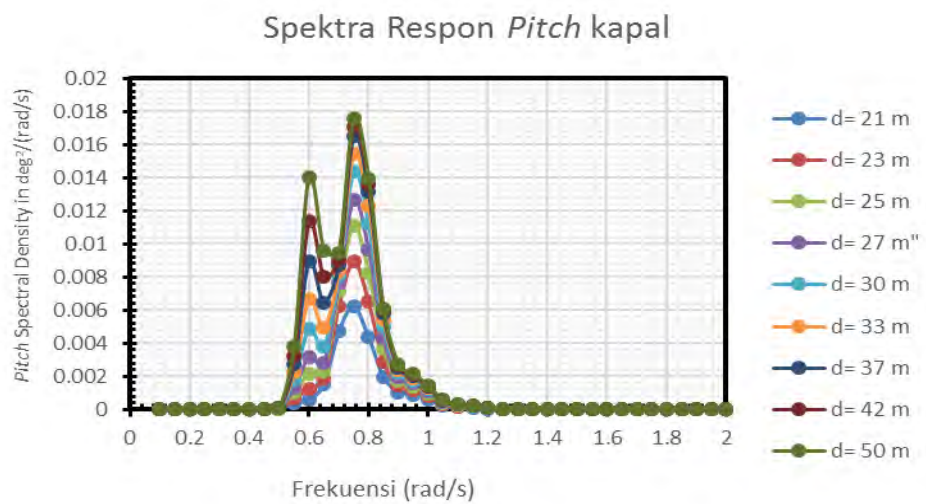
Spektra Respon *Heave* kapal



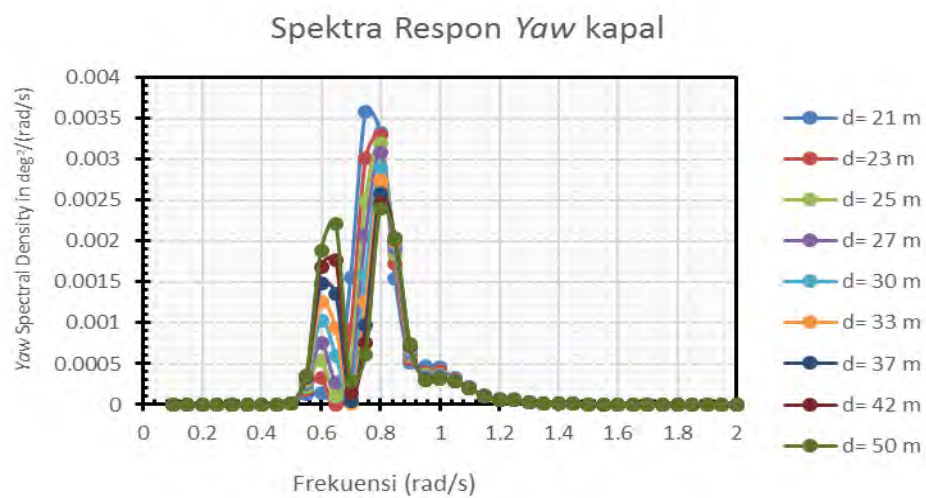
(c)



(d)



(e)

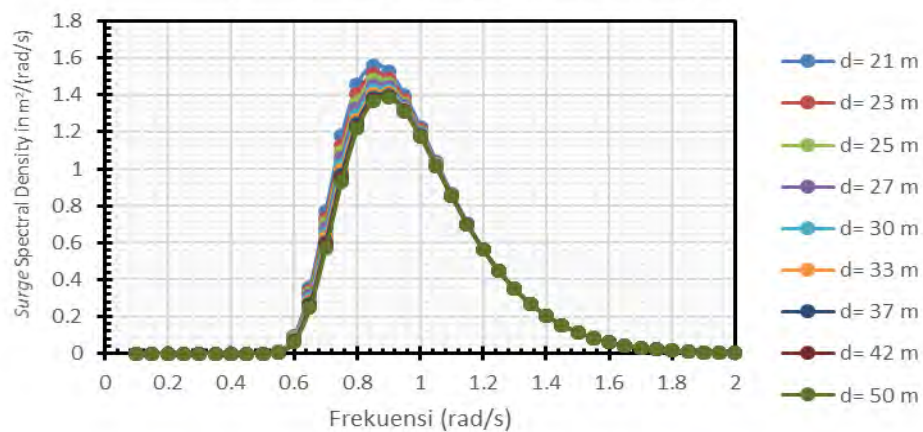


(f)

Gambar 4. 29 Grafik spektra respon kapal dalam 6 derajat kebebasan tiap variasi kedalaman (a) *surge*, (b) *sway*, (c) *heave*, (d) *roll*, (e) *pitch*, (f) *yaw*

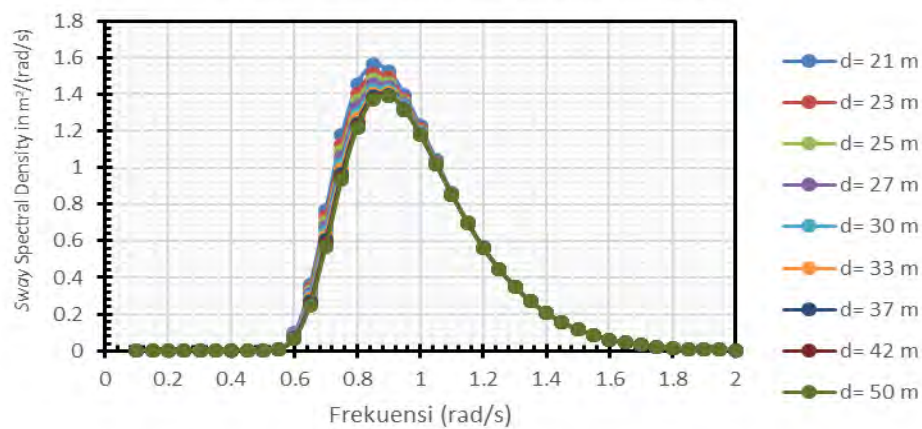
Dari Gambar 4.29 di atas, diketahui nilai spektra respon untuk $H_s = 3.1$ m dan $T_p = 6.9$ sec mempunyai nilai maksimum $S_R(\omega)_{surge} = 0.0038$ [m²/(rad/s)] yang merupakan nilai terbesar pada kedalaman 21 m. Respon struktur untuk gerakan *sway* terjadi paling besar juga terjadi pada kedalaman 21 m yaitu dengan nilai $S_R(\omega)_{sway} = 0.157$ [m²/(rad/s)]. Respon struktur untuk gerakan *heave* terjadi paling besar pada kedalaman 50 m, yaitu dengan nilai sebesar $S_R(\omega)_{heave} = 0.184$ [m²/(rad/s)]. Respon struktur untuk gerakan *roll* terjadi paling besar pada kedalaman 33 m, yaitu dengan nilai $S_R(\omega)_{roll} = 1.72$ [deg²/(rad/s)]. Respon struktur untuk gerakan *pitch* terjadi paling besar pada kedalaman 50 m, yaitu dengan nilai $S_R(\omega)_{pitch} = 0.017$ [deg²/(rad/s)]. Respon struktur untuk gerakan *yaw* terjadi paling besar pada kedalaman 21 m dengan nilai $S_R(\omega)_{yaw} = 0.035$ [deg²/(rad/s)].

Spektra Respon Surge CALM Buoy



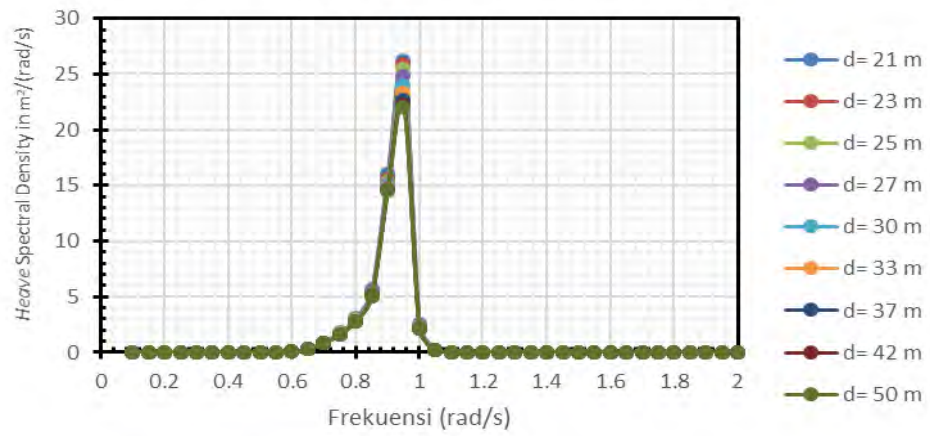
(a)

Spektra Respon Sway CALM Buoy



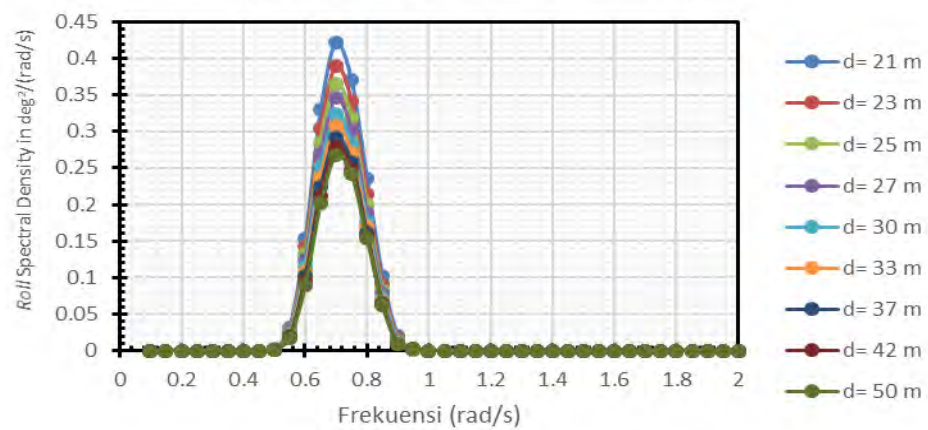
(b)

Spektra Respon *Heave* CALM Buoy



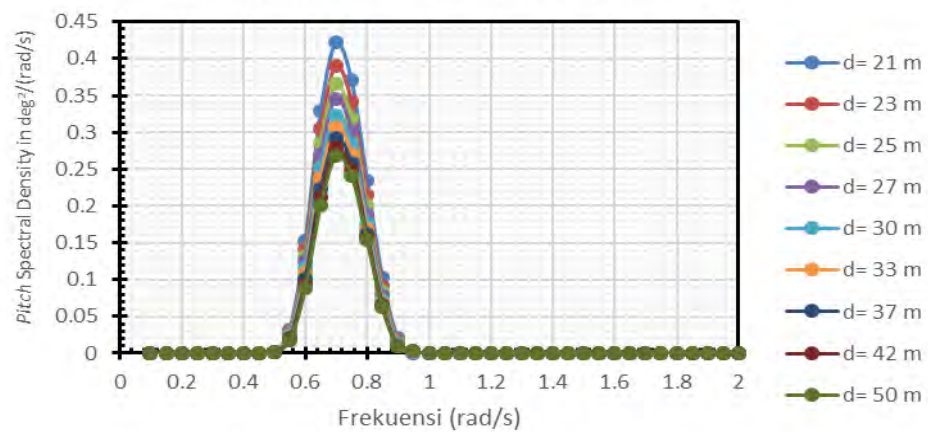
(c)

Spektra Respon *Roll* CALM Buoy

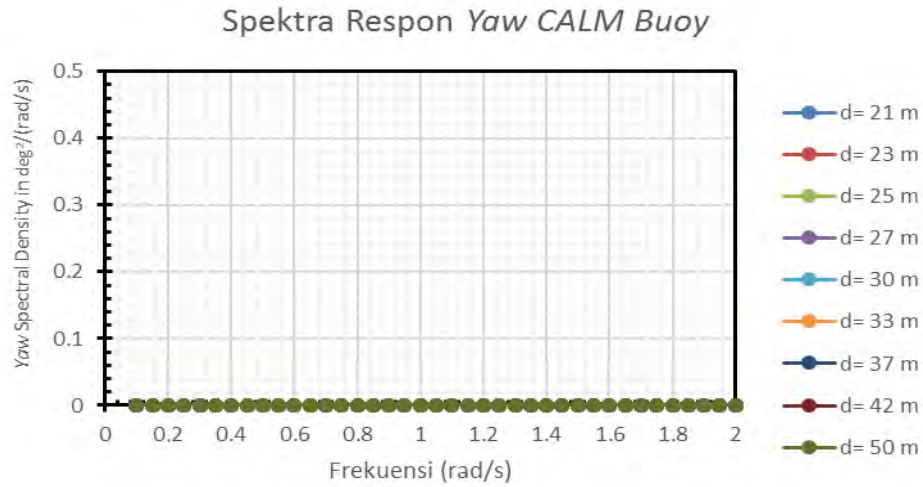


(d)

Spektra Respon *Pitch* CALM Buoy



(e)



(f)

Gambar 4. 30 Grafik spektra respon *CALM Buoy* dalam 6 derajat kebebasan tiap variasi kedalaman (a) *surge*, (b) *sway*, (c) *heave*, (d) *roll*, (e) *pitch*, (f) *yaw*

Dari Gambar 4.30 di atas, diketahui nilai spektra respon untuk $H_s = 3.1$ m dan $T_p = 6.9$ sec mempunyai nilai maksimum $S_R(\omega)_{surge} = 1.56 \text{ [m}^2/(\text{rad/s})]$ yang merupakan nilai terbesar pada kedalaman 21 m. Respon struktur untuk gerakan *sway* terjadi paling besar juga terjadi pada kedalaman 21 m yaitu dengan nilai $S_R(\omega)_{sway} = 1.56 \text{ [m}^2/(\text{rad/s})]$. Respon struktur untuk gerakan *heave* relatif sama untuk semua kedalaman, yaitu dengan nilai sebesar $S_R(\omega)_{heave} = 0.21 \text{ [m}^2/(\text{rad/s})]$. Respon struktur untuk gerakan *roll* terjadi paling besar pada kedalaman 21 m, yaitu dengan nilai $S_R(\omega)_{roll} = 0.42 \text{ [deg}^2/(\text{rad/s})]$. Respon struktur untuk gerakan *pitch* terjadi paling besar pada kedalaman 21 m, yaitu dengan nilai $S_R(\omega)_{pitch} = 0.42 \text{ [deg}^2/(\text{rad/s})]$. Respon struktur untuk gerakan *yaw* relatif tidak terjadi gerakan dikarenakan struktur berbentuk silinder, namun dalam analisis numerik memiliki nilai paling besar pada kedalaman 21 m dengan nilai $S_R(\omega)_{yaw} = 1.22e^{-29} \text{ [deg}^2/(\text{rad/s})]$. Setelah mengetahui respon spektra masing-masing gerakan pada tiap kedalaman, selanjutnya dicari nilai signifikan dari masing-masing gerakan dengan persamaan berikut:

$$\text{Nilai Signifikan} = 4 \times \sqrt{m_0} \quad (4.8)$$

Berikut hasil perhitungan nilai signifikan kapal tiap gerakan dengan variasi kedalaman ditunjukkan dalam Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Nilai signifikan kapal dalam 6 derajat kebebasan dengan variasi kedalaman

KEDALAMAN	21	23	25	27	30	33	37	42	50
SURGE (m)	0.127	0.108	0.108	0.105	0.103	0.103	0.101	0.101	0.100
SWAY (m)	0.877	0.859	0.847	0.838	0.828	0.821	0.814	0.809	0.804
HEAVE (m)	0.392	0.491	0.564	0.618	0.675	0.715	0.747	0.763	0.769
ROLL (deg)	2.396	2.635	2.755	2.815	2.847	2.849	2.832	2.802	2.758
PITCH (deg)	0.135	0.161	0.180	0.194	0.210	0.223	0.235	0.245	0.256
YAW (deg)	0.101	0.097	0.094	0.093	0.092	0.092	0.091	0.090	0.090

Berdasarkan Tabel 4.4 di atas, nilai signifikan spektra respon gerakan *surge*, *sway*, dan *heave* terlihat dipengaruhi oleh variasi kedalaman. Sedangkan untuk gerakan *roll*, *pitch* dan *yaw* tidak dipengaruhi oleh variasi kedalaman. Untuk gerakan *heave* dimana pada analisis RAO memiliki perubahan yang tidak begitu signifikan terhadap variasi kedalaman mulai terlihat perbedaan nilainya ketika dimasukkan ke dalam spektra respon. Nilai gerakan *heave* pada kondisi *free floating* mengalami penurunan nilai untuk variasi kedalaman justru nilainya berubah menjadi naik untuk tiap variasi kedalaman karena pada kondisi *free floating* nilai maksimumnya lebih dipengaruhi oleh nilai frekuensi gelombang. Untuk perhitungan nilai signifikan *CALM Buoy* ditunjukkan dalam Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Nilai signifikan *CALM Buoy* dalam 6 derajat kebebasan dengan variasi kedalaman

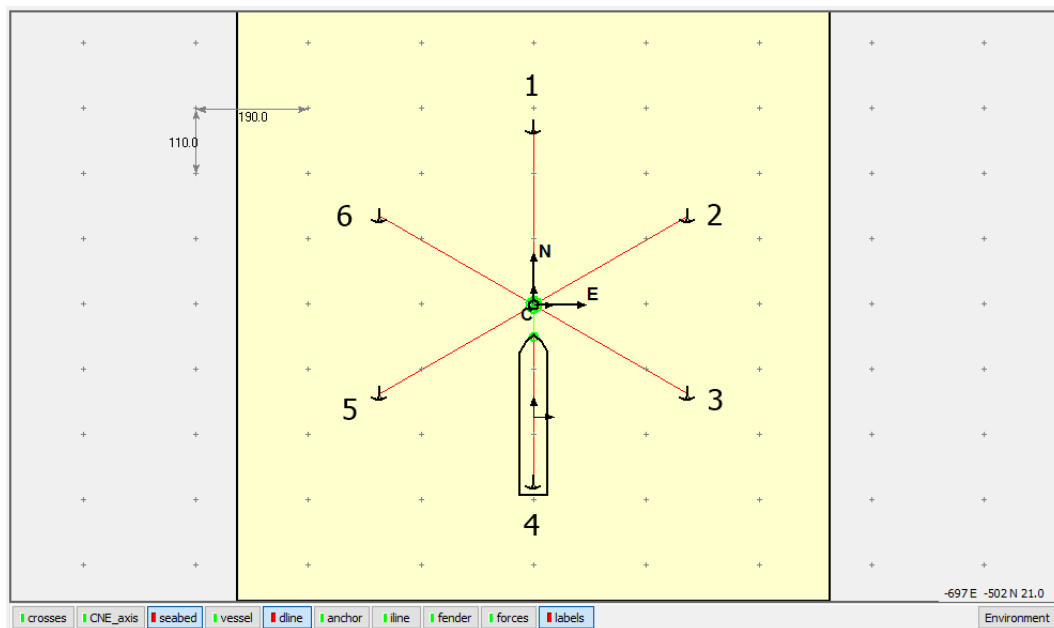
KEDALAMAN	21	23	25	27	30	33	37	42	50
SURGE (m)	3.415	3.378	3.350	3.328	3.303	3.287	3.272	3.260	3.252
SWAY (m)	3.415	3.378	3.350	3.328	3.303	3.287	3.272	3.260	3.252
HEAVE (m)	6.980	6.920	6.849	6.781	6.691	6.624	6.562	6.520	6.493
ROLL (deg)	1.944	1.920	1.901	1.885	1.867	1.854	1.841	1.830	1.821
PITCH (deg)	1.944	1.920	1.901	1.885	1.867	1.854	1.841	1.830	1.821
YAW (deg)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Berdasarkan Tabel 4.5 di atas, nilai signifikan seluruh gerakan berdasarkan spektra respon dari *CALM Buoy* dipengaruhi oleh variasi kedalaman. Hal ini berbeda dengan hasil analisis dari gerakan kapal dikarenakan berbedanya bentuk

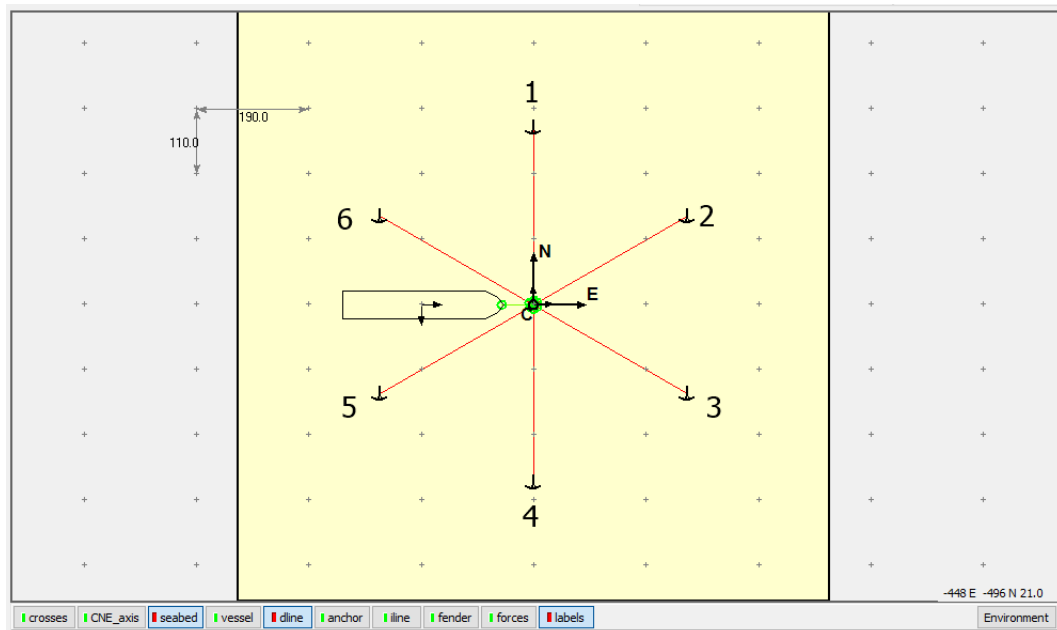
antara kedua struktur. Bentuk dari *CALM Buoy* yang berupa silinder memungkinkan gelombang tidak terdifraksi dan melewati struktur begitu saja sesuai dengan teori dari Morison sehingga menyebabkan hasil analisis yang berbeda dari hasil analisis kapal.

4.5 PEMODELAN KAPAL DAN *CALM BUOY* KONDISI TERTAMBAT

Pemodelan Kapal dan *CALM Buoy* dalam kondisi tertambat dilakukan dalam dua variasi yaitu secara *inline* dan *betweenline* dikarenakan sifat dari jenis sistem tambat yang dianalisis bersifat *weathervaning*, yaitu kapal dapat berputar 360° mengikuti arah pembebanan gelombang sehingga diperlukan analisis yang dapat mewakili seluruh posisi kapal terhadap konfigurasi *mooring line*. Pada penelitian kali ini menggunakan data lingkungan dari lepas pantai tuban yang memiliki kedalaman sesungguhnya sedalam 23.5 m. *Mooring line* yang digunakan berjumlah 6 buah dengan konfigurasi simetris 60°. *Mooring line* yang digunakan berjenis *studlink* dengan *grade* RQ3 memiliki MBL sebesar 4900 KN. *Pre-tension* menggunakan 10% dari *MBL* untuk tiap-tiap variasi kedalaman. Berikut ilustrasi konfigurasi *mooring line* dan kapal dalam kondisi *inline* dan *betweenline* ditunjukkan pada Gambar 4.31.



Gambar 4. 31 Konfigurasi *Mooring Line* dan kapal dalam kondisi *inline*



Gambar 4. 32 Konfigurasi *Mooring Line* dan kapal dalam kondisi *betweenline*

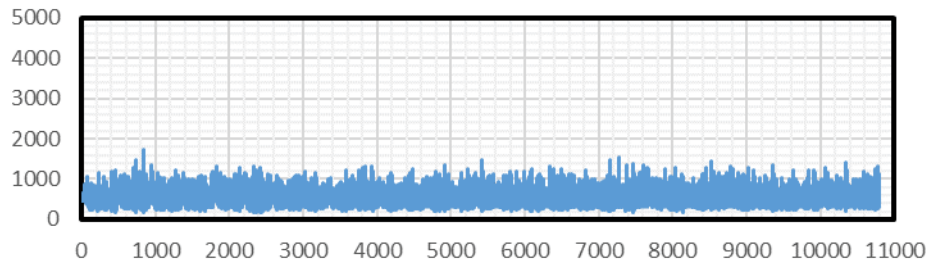
Jarak jangkar terhadap *CALM Buoy* sejauh 293 m, sedangkan untuk panjang *mooring line* mengikuti variasi kedalaman yang disesuaikan dengan *pre-tension*. Untuk jarak kapal dengan *CALM Buoy* yaitu sejauh 55 m disesuaikan dengan data yang diperoleh dari PT. Pertamina.

4.6 ANALISIS GAYA TARIK TALI TAMBAT

4.6.1 Analisis Gaya Tarik Tali Tambat Kondisi *Inline*

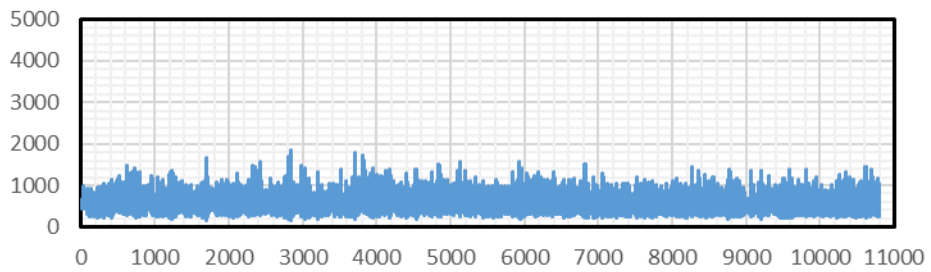
Analisis gaya tarik tali tambat pada kondisi *inline* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.34 menunjukkan bahwa gaya dari kapal sebagian besar ditahan oleh *mooring line* 1, sehingga analisis lebih mendalam dilakukan pada *mooring line* 1. Analisis yang digunakan menggunakan analisis dinamis *time domain* dengan durasi waktu selama 3 jam (10800 detik), dengan *time step* analisis sebesar 0.1 detik untuk lebih mengetahui detail nilai *tension*. Analisis *time domain* selama 3 jam mengacu pada DNV OS E-301. Nilai *time history* untuk *mooring line* 1 kondisi *inline* pada masing-masing kedalaman dapat dilihat pada Gambar 4.33 di bawah ini.

Inline 21 m



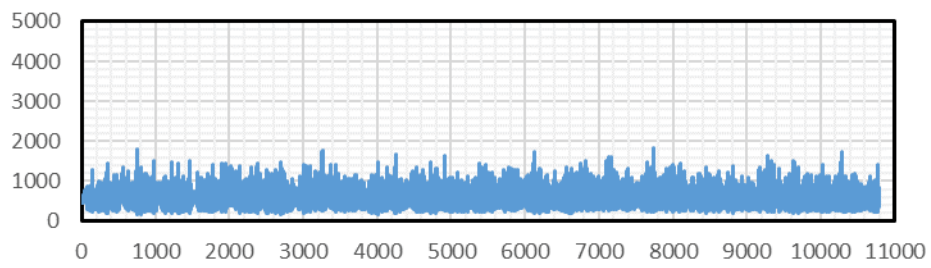
(a)

Inline 23 m



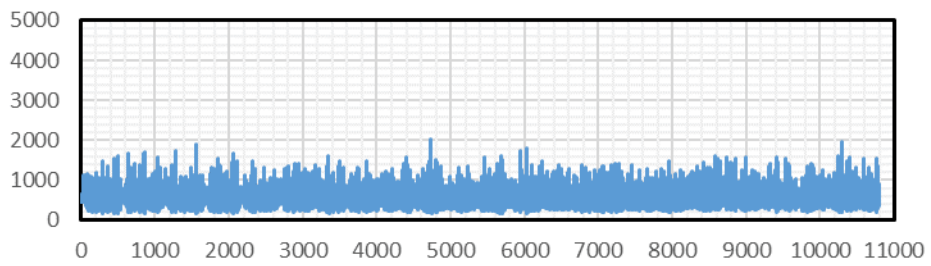
(b)

Inline 25 m



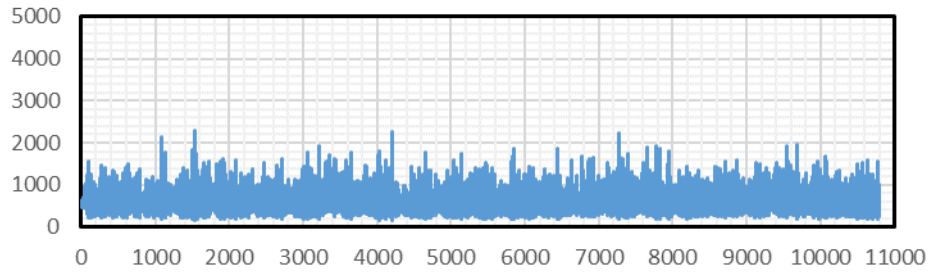
(c)

Inline 27 m



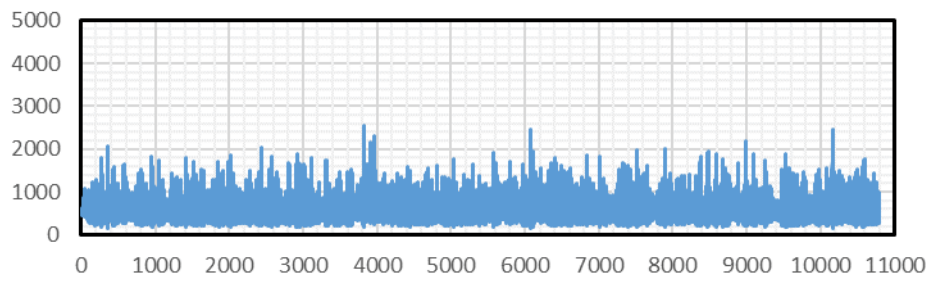
(d)

Inline 30 m



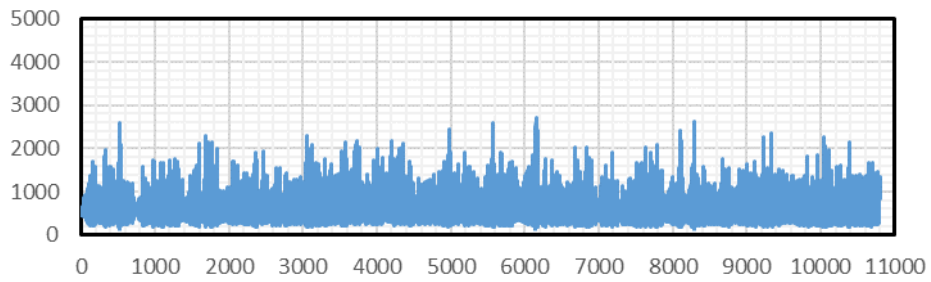
(e)

Inline 33 m



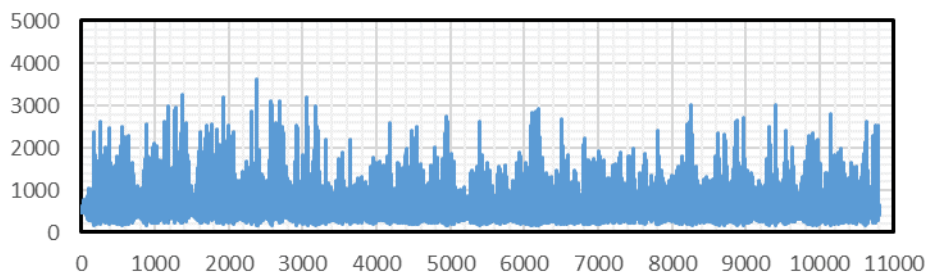
(f)

Inline 37 m

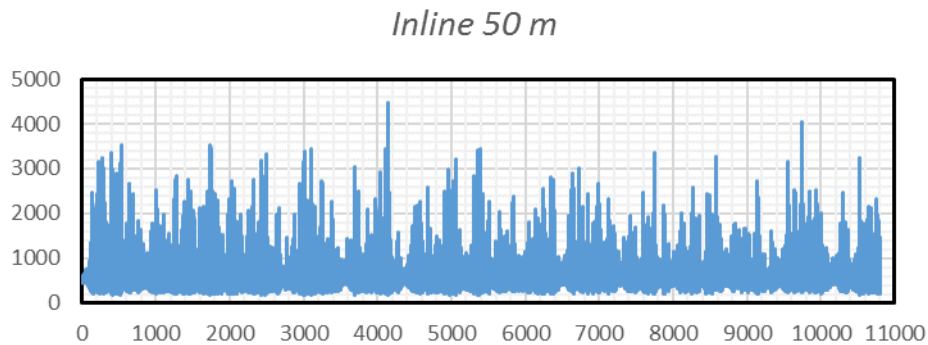


(g)

Inline 42 m



(h)



(i)

Gambar 4. 33 *Tension Mooring Line 1* kondisi *inline* tiap variasi kedalaman (a) 21 m, (b) 23 m, (c) 25m, (d) 27 m, (e) 30 m, (f) 33 m, (g) 37 m, (h) 42 m, (i) 50 m

Penentuan besarnya nilai *tension* pada analisis *time domain* tidak bisa dilakukan dengan menunjuk satu nilai pada kurun waktu tertentu, melainkan sebaran datanya harus diolah terlebih dahulu. Pengolahan data *tension* menggunakan metode statistik sehingga diperoleh nilai rata-rata, nilai rata-rata 1/3 tertinggi, nilai rata-rata 1/10 tertinggi, nilai rata-rata 1/100 tertinggi, nilai maksimum dan nilai minimum. Hasil analisa *tension mooring line 1* dalam kondisi *inline* dapat dilihat pada Tabel 4.6.

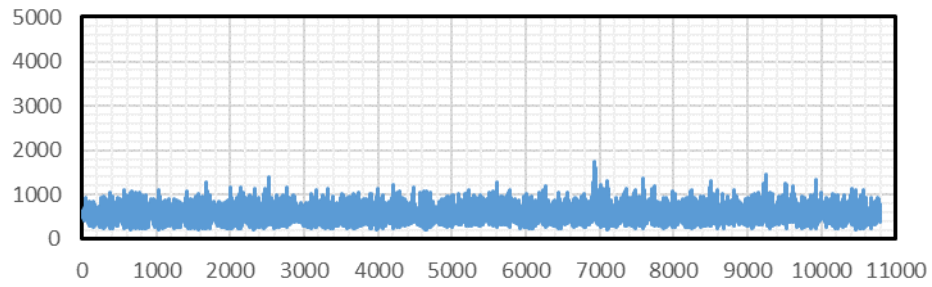
Tabel 4.6 Nilai *Tension Mooring line 1* Tiap Variasi Kedalaman

<i>Description</i>	<i>Kedalaman (m)</i>								
	21	23	25	27	30	33	37	42	50
<i>MEAN (KN))</i>	541.19	552.05	450.72	553.27	567.14	568.91	586.61	617.26	664.37
<i>Tension 1/3 highest (KN)</i>	762.45	791.99	813.69	819.85	856.93	885.86	947.15	1043.80	1084.50
<i>Tension 1/10 highest (KN)</i>	912.88	960.47	995.54	1016.60	1089.20	1134.86	1232.90	1411.00	1500.00
<i>Tension 1/100 highest (KN)</i>	1175.60	1268.80	1320.00	1381.00	1520.00	1603.00	1788.20	2229.20	2483.00
<i>MAX (KN)</i>	1719.83	1841.95	1560.51	2033.80	2283.89	2536.75	2712.01	3612.01	4470.45
<i>MIN (KN)</i>	171.20	161.32	148.19	157.50	147.60	152.54	151.95	156.40	171.83

4.6.2 Analisis Gaya Tarik Tali Tambat Kondisi *Betweenline*

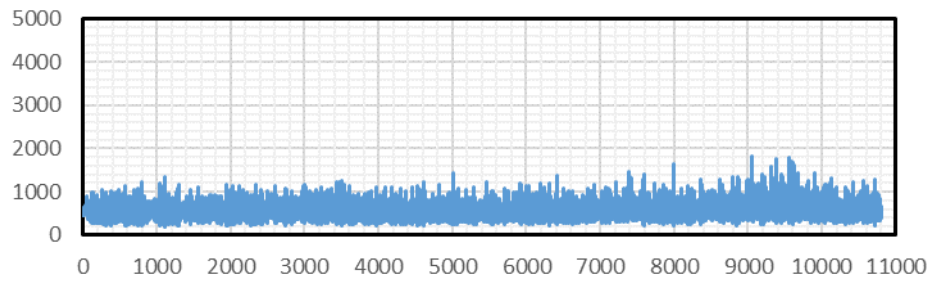
Analisis gaya tarik tali tambat pada kondisi *inline* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.31 menunjukkan bahwa gaya dari kapal sebagian besar ditahan oleh *mooring line 2* dan 3, sehingga analisis lebih mendalam dilakukan pada *mooring line 2* dan 3. Nilai *time history* untuk *mooring line 2* dan 3 kondisi *inline* pada masing-masing kedalaman dapat dilihat pada Gambar 4.34 di bawah ini.

Betweenline 21 m



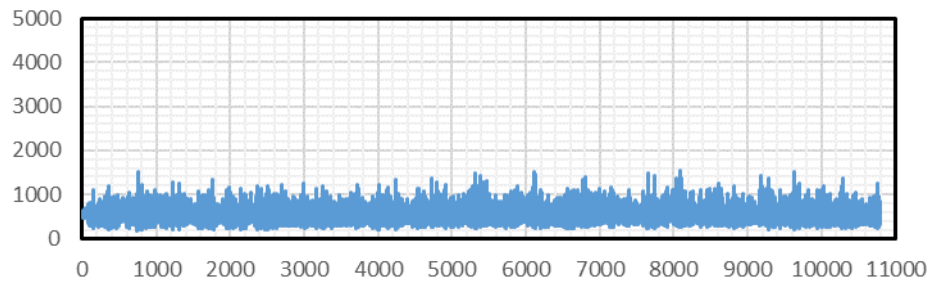
(a)

Betweenline 23 m



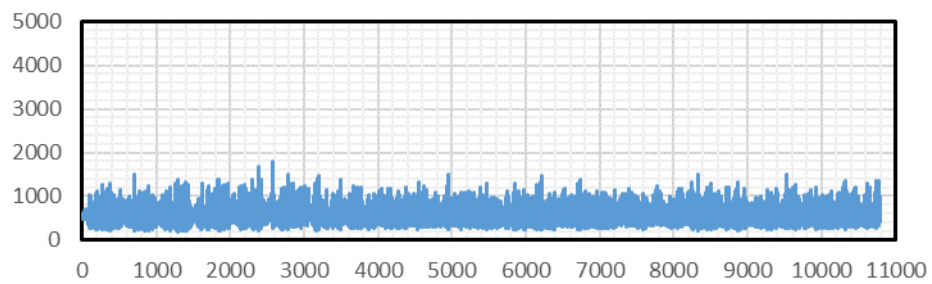
(b)

Betweenline 25 m



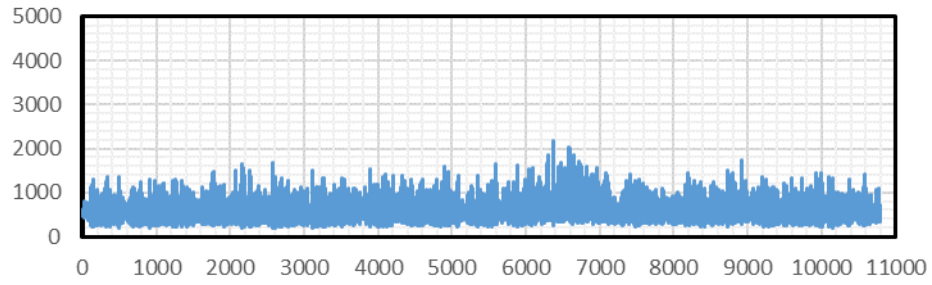
(c)

Betweenline 27 m



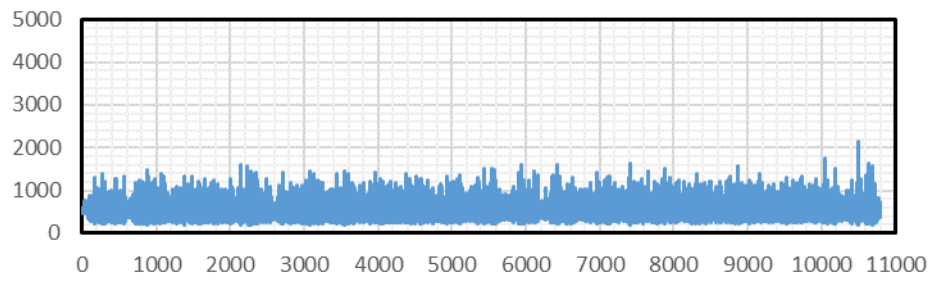
(d)

Betweenline 30 m



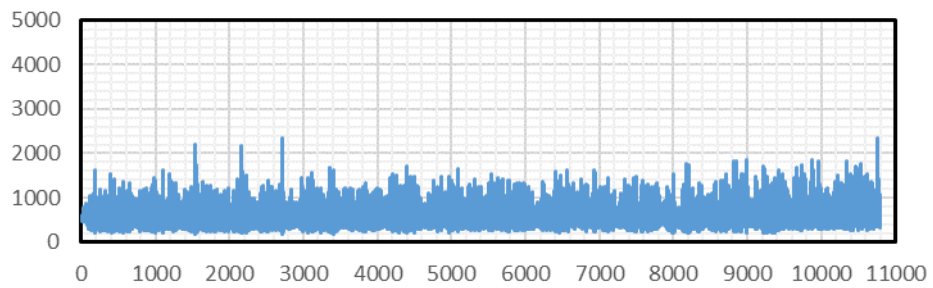
(e)

Betweenline 33 m



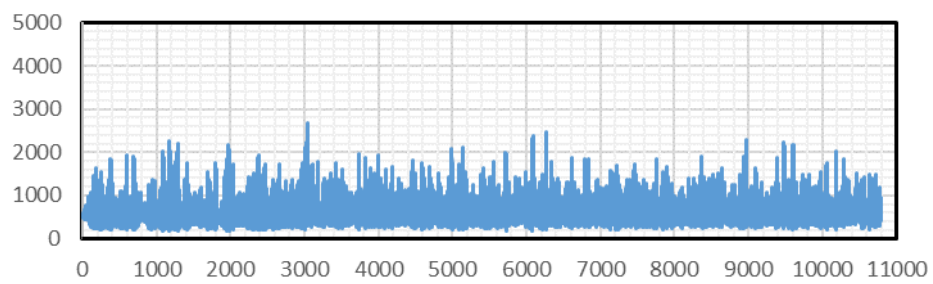
(f)

Betweenline 37 m

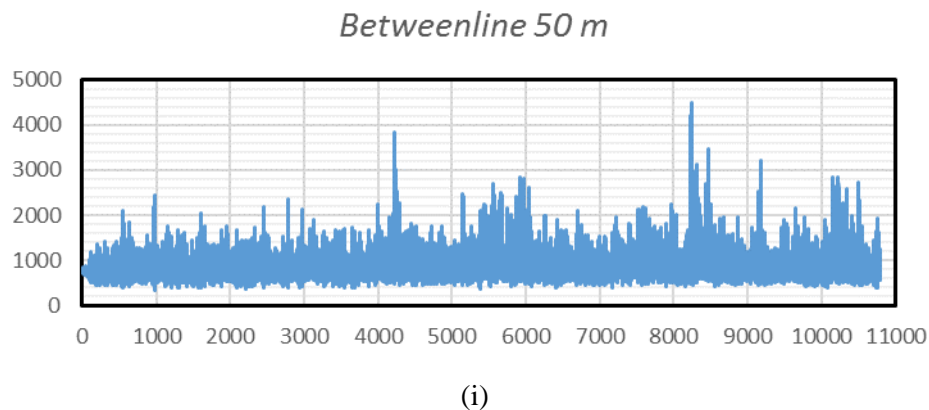


(g)

Betweenline 42 m



(h)



Gambar 4. 34 *Tension Mooring Line 2* kondisi *betweenline* tiap variasi kedalaman (a) 21 m, (b) 23 m, (c) 25m, (d) 27 m, (e) 30 m, (f) 33 m, (g) 37 m, (h) 42 m, (i) 50 m.

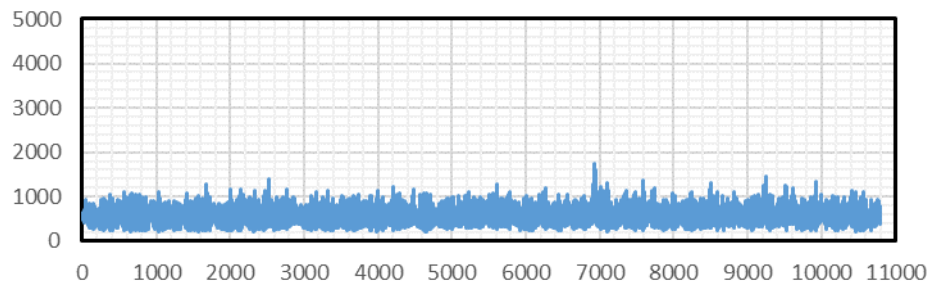
Penentuan besarnya nilai *tension* pada analisis *time domain* tidak bisa dilakukan dengan menunjuk satu nilai pada kurun waktu tertentu, melainkan sebaran datanya harus diolah terlebih dahulu. Pengolahan data *tension* menggunakan metode statistik sehingga diperoleh nilai rata-rata, nilai rata-rata 1/3 tertinggi, nilai rata-rata 1/10 tertinggi, nilai rata-rata 1/100 tertinggi, nilai maksimum dan nilai minimum. Hasil analisa *tension mooring line 2* dalam kondisi *betweenline* dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.7 Nilai *Tension Mooring line 2* Tiap Variasi Kedalaman

<i>Description</i>	<i>Kedalaman (m)</i>								
	21	23	25	27	30	33	37	42	50
<i>MEAN (KN)</i>	540.12	552.77	535.96	546.28	566.35	540.85	583.31	596.22	871.56
<i>Tension 1/3 highest (KN)</i>	708.58	719.22	742.62	764.88	780.27	801.65	868.36	905.53	1177.90
<i>Tension 1/10 highest (KN)</i>	853.13	854.21	886.41	922.96	1009.90	987.69	1084.80	1156.30	1421.70
<i>Tension 1/100 highest (KN)</i>	1080.50	1096.20	1150.00	1208.00	1385.50	1290.50	1468.00	1670.30	2071.00
<i>MAX (KN)</i>	1739.28	1832.96	1555.38	1804.56	2185.98	2134.09	2348.60	2679.82	4476.58
<i>MIN (KN)</i>	198.60	179.48	179.25	176.16	179.49	178.16	184.18	171.17	347.60

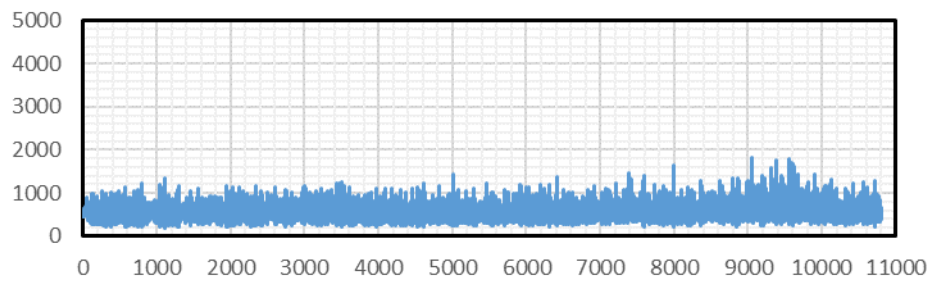
Pada Tabel 4.7 disajikan hasil pengolahan *tension mooring line 2* pada kondisi *betweenline*. Sedangkan berdasarkan Gambar 4.32 analisa *betweenline* diharuskan untuk menganalisa *mooring line 2* dan 3. Untuk itu, hasil perhitungan *time history* untuk *mooring line 3* dapat dilihat pada Gambar 4.35 di bawah ini.

Betweenline 21 m



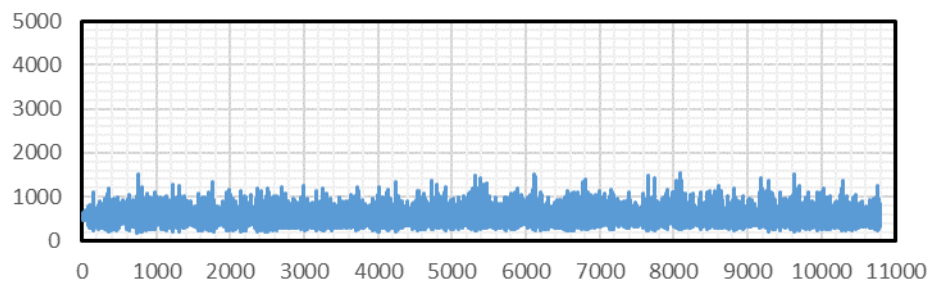
(a)

Betweenline 23 m



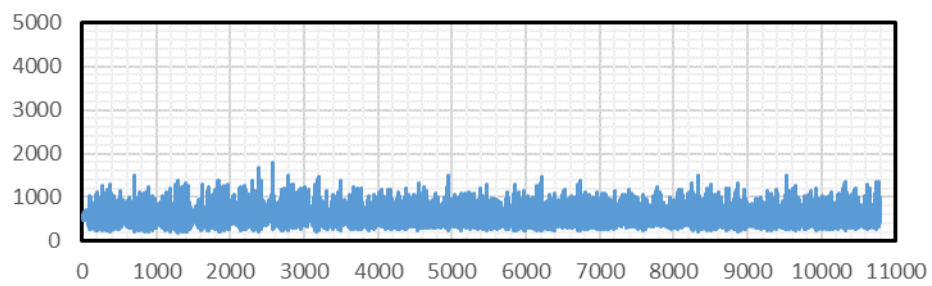
(b)

Betweenline 25 m



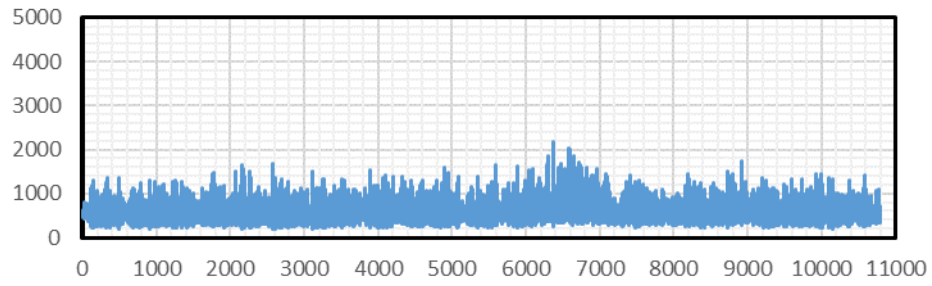
(c)

Betweenline 27 m



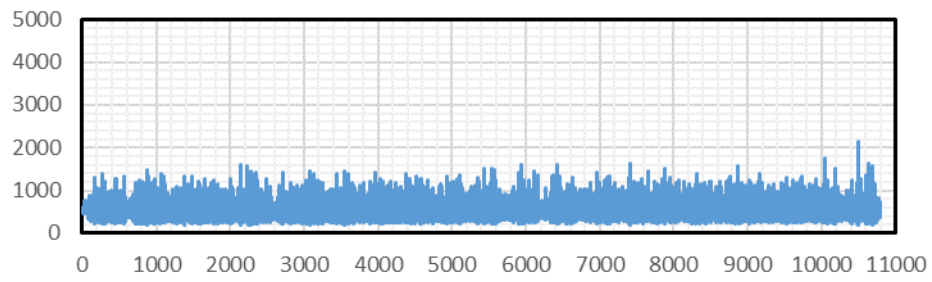
(d)

Betweenline 30 m



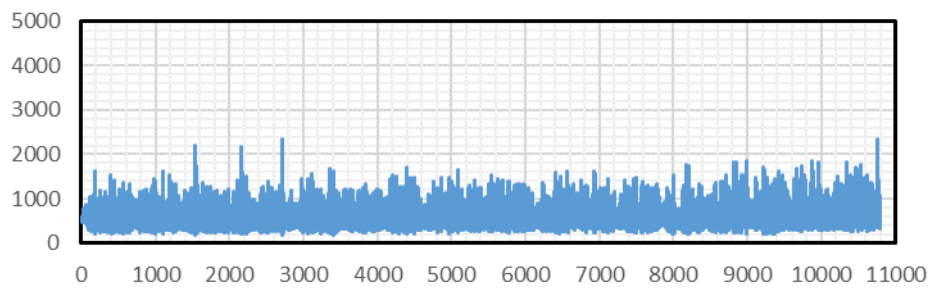
(e)

Betweenline 33 m



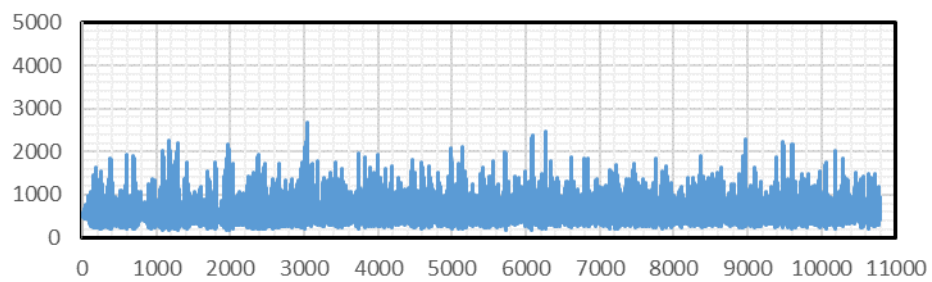
(f)

Betweenline 37 m

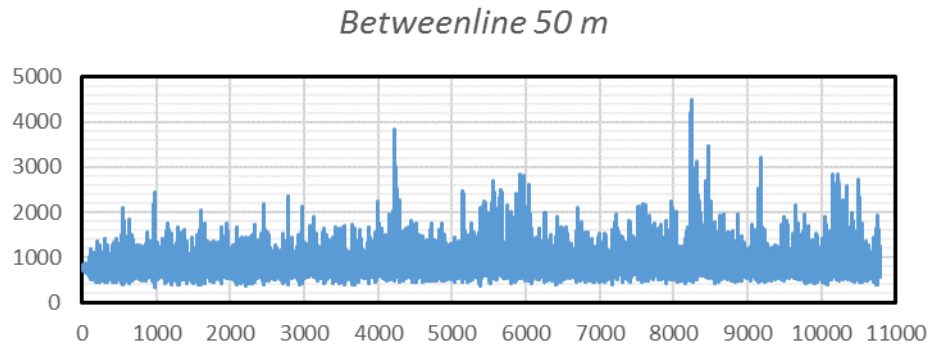


(g)

Betweenline 42 m



(h)



(i)

Gambar 4. 35 *Tension Mooring Line 3* kondisi *betweenline* tiap variasi kedalaman (a) 21 m, (b) 23 m, (c) 25m, (d) 27 m, (e) 30 m, (f) 33 m, (g) 37 m, (h) 42 m, (i) 50 m.

Penentuan besarnya nilai *tension* pada analisis *time domain* tidak bisa dilakukan dengan menunjuk satu nilai pada kurun waktu tertentu, melainkan sebaran datanya harus diolah terlebih dahulu. Pengolahan data *tension* menggunakan metode statistik sehingga diperoleh nilai rata-rata, nilai rata-rata 1/3 tertinggi (signifikan), nilai rata-rata 1/10 tertinggi, nilai rata-rata 1/100 tertinggi, nilai maksimum dan nilai minimum. Hasil analisa *tension mooring line 3* dalam kondisi *betweenline* dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.8 Nilai *Tension Mooring line 3* Tiap Variasi Kedalaman

<i>Description</i>	<i>Kedalaman (m)</i>								
	21	23	25	27	30	33	37	42	50
<i>MEAN (KN)</i>	539.33	546.34	531.79	542.31	558.72	540.78	579.78	598.78	875.14
<i>Tension 1/3 highest (KN)</i>	702.25	715.35	736.03	756.77	788.52	802.03	863.30	909.10	1189.10
<i>Tension 1/10 highest (KN)</i>	847.73	850.84	874.64	912.02	996.14	986.56	1078.80	1156.60	1449.20
<i>Tension 1/100 highest (KN)</i>	1057.80	1100.00	1120.00	1194.40	1356.40	1302.30	1494.80	1650.40	2162.00
<i>MAX (KN)</i>	1426.31	1824.89	1538.04	1727.19	2038.19	2524.84	2310.40	3026.76	4322.85
<i>MIN (KN)</i>	201.78	180.82	180.63	173.92	180.39	183.15	168.84	181.78	351.48

Nilai *tension* yang digunakan dalam analisis adalah nilai *tension* signifikan atau nilai *tension* 1/3 tertinggi dikarenakan dalam analisis *time domain* diperlukan analisis statistik terhadap hasil *output*. Nilai signifikan *tension* untuk kondisi *inline* dan *betweenline* cenderung memiliki tren kenaikan nilai untuk masing-masing

kedalaman. Semakin dalam wilayah perairan, maka *tension* dari *mooring line* akan semakin besar.

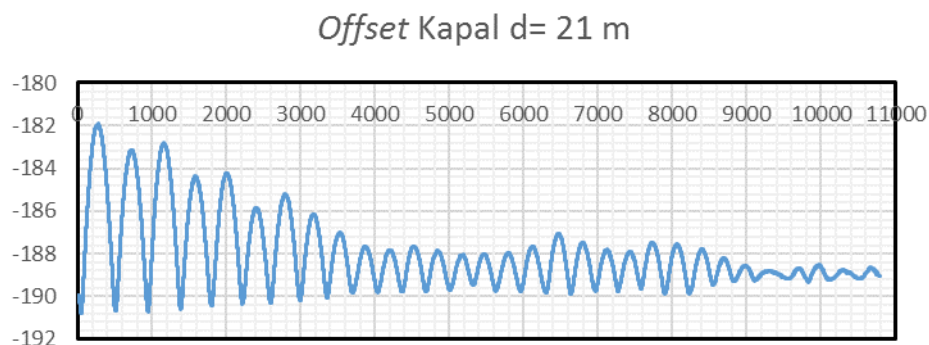
4.6.3 Analisa Gaya Tarik *Hawser*

Hawser merupakan salah satu komponen tali tambat yang menghubungkan kapal dengan *CALM Buoy*. Fungsi *Hawser* yaitu untuk menjaga agar kapal tidak bergerak menjauhi *CALM Buoy* yang dapat menyebabkan terputusnya *floating hose*. Berikut ini hasil analisa *time domain* untuk *tension* pada *hawser*:

Tabel 4.9 Nilai *Tension Hawser* Tiap Variasi Kedalaman

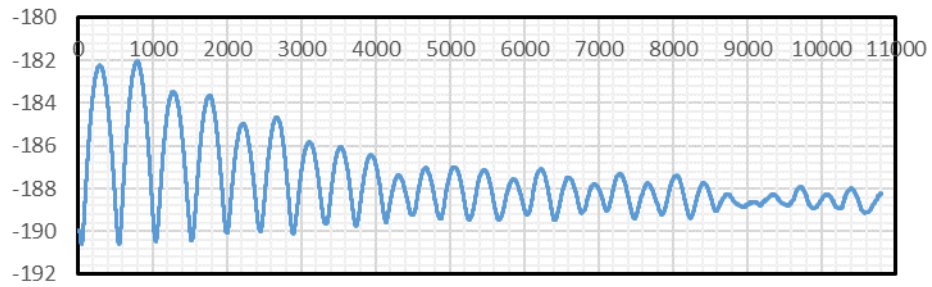
Description	Kedalaman (m)								
	21	23	25	27	30	33	37	42	50
MEAN (KN)	116.99	109.69	102.81	97.69	92.40	87.31	83.24	80.44	77.40
Tension 1/3 highest (KN)	225.53	222.79	190.93	184.71	176.88	161.12	151.01	147.41	139.72
Tension 1/10 highest (KN)	427.64	443.80	359.59	357.55	352.05	316.93	297.34	331.23	354.18
Tension 1/100 highest (KN)	1434.00	1597.50	1371.10	1493.80	1739.00	1679.80	1597.90	1917.40	2255.70
MAX (KN)	3629.87	3614.75	3810.00	3913.43	5297.00	5670.43	5947.19	6958.37	7476.00
MIN (KN))	41.51	41.13	40.31	39.05	37.46	38.79	36.79	36.45	35.23

Berdasarkan Table 4.9 di atas, nilai signifikan *tension* pada *hawser* mengalami penurunan untuk tiap variasi kedalaman. Nilai *tension* tertinggi saat struktur beroperasi pada kedalaman 21 m. Hal tersebut dikarenakan pada kedalaman tersebut, efek dari *surge drifting force* memiliki nilai paling besar dan nilainya turun seiring bertambahnya kedalaman daerah operasi. Untuk mempermudah analisis efek dari *surge drifting force* dapat diturunkan dari *time history offset* kapal pada Gambar 4.36 di bawah ini.



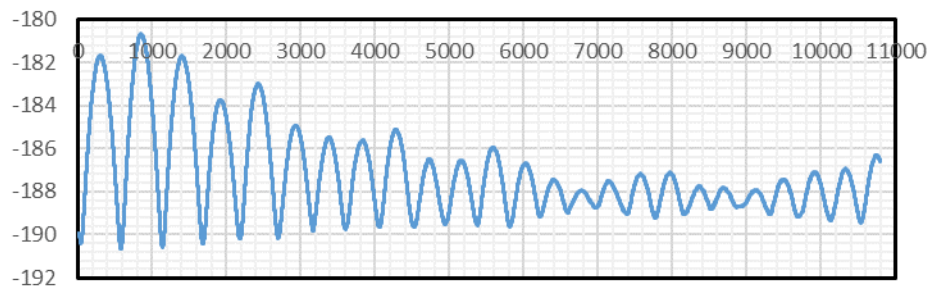
(a)

Offset Kapal d=23 m



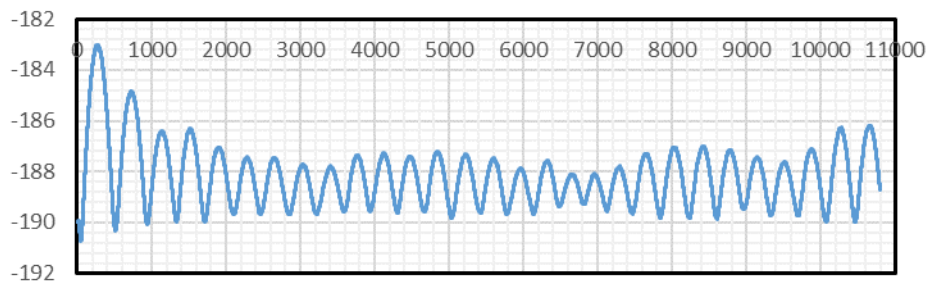
(b)

Offset Kapal d= 25 m



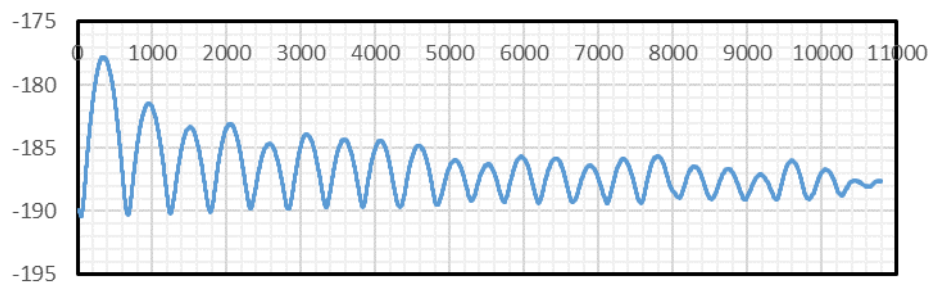
(c)

Offset Kapal d= 27 m

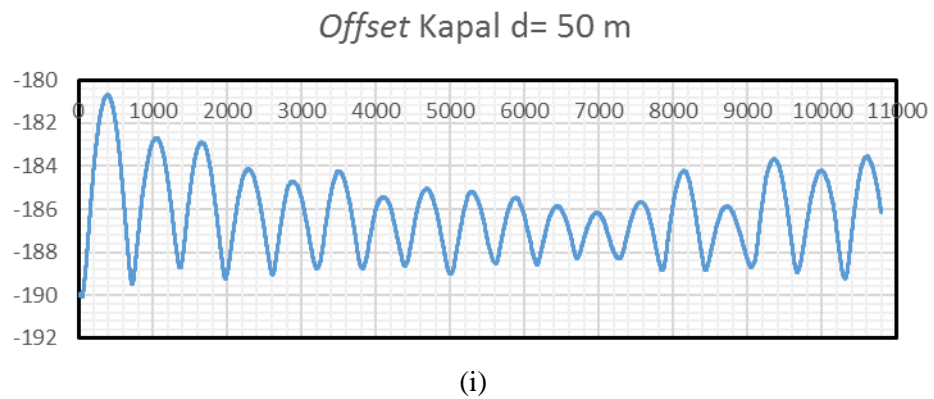
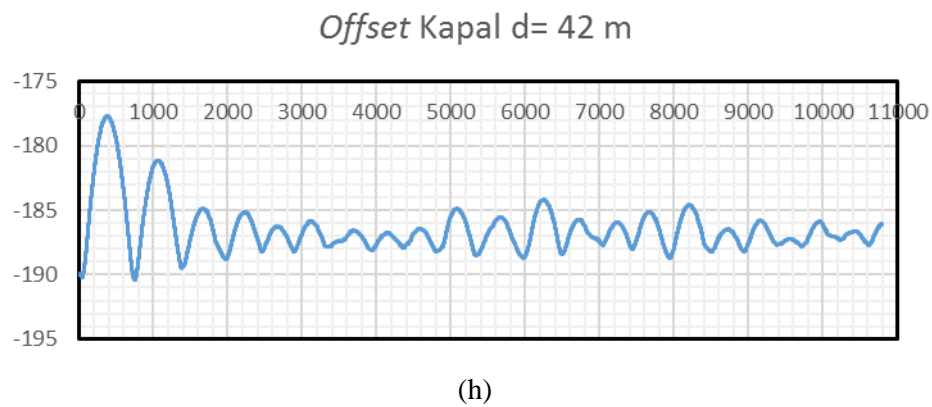
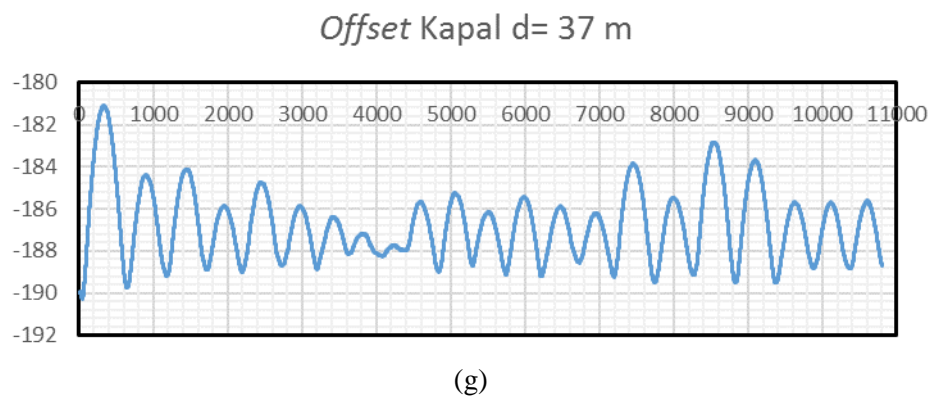
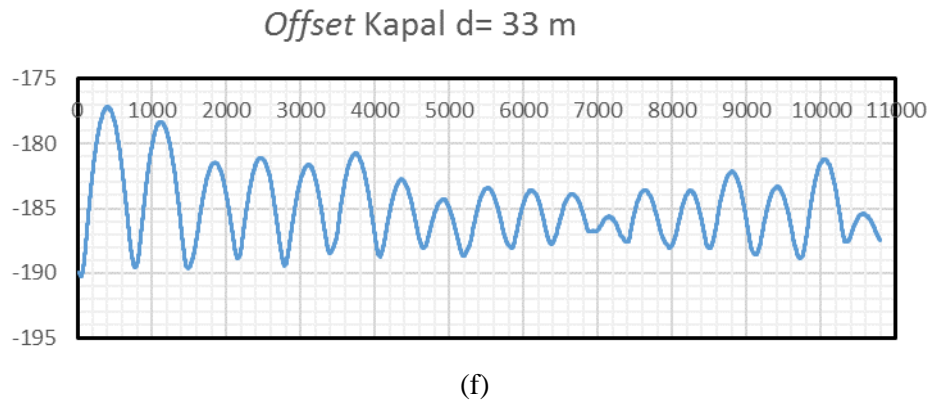


(d)

Offset Kapal d= 30 m



(e)



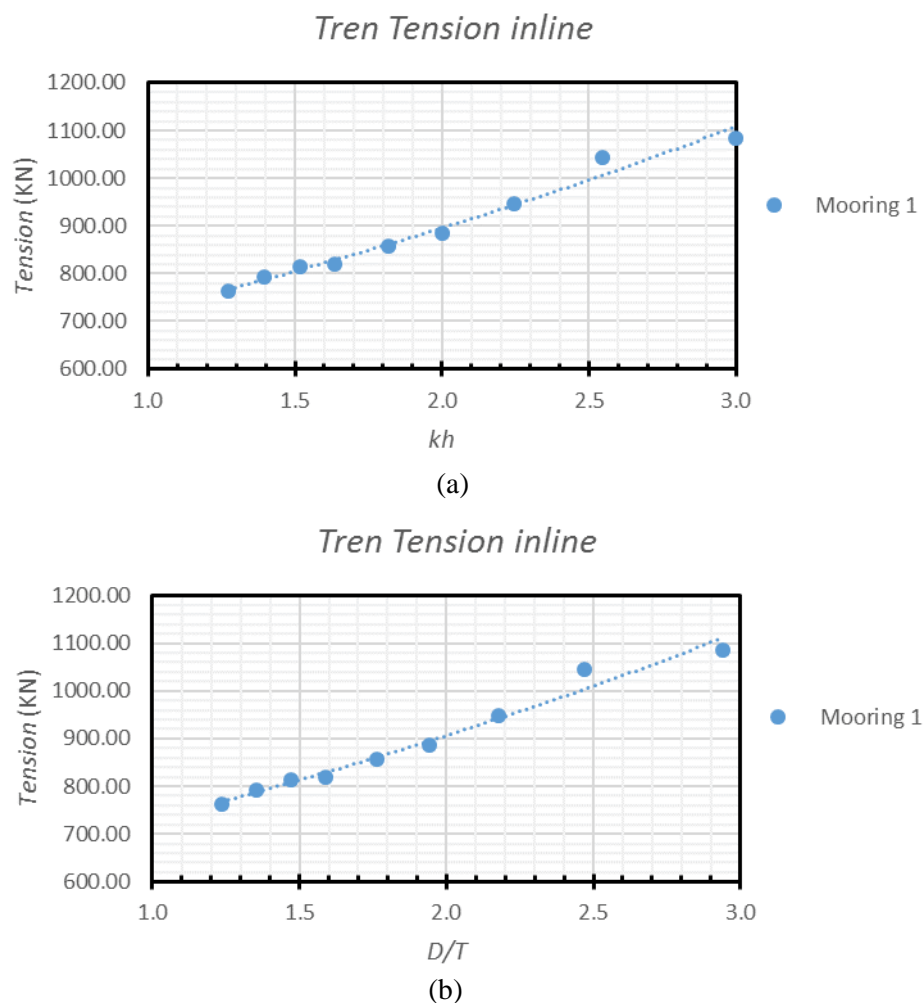
Gambar 4. 36 *Offset kapal akibat surge drifting force* setiap variasi kedalaman (a) 21 m, (b) 23 m, (c) 25m, (d) 27 m, (e) 30 m, (f) 33 m, (g) 37 m, (h) 42 m, (i) 50 m.

Berdasarkan Gambar 4.36 di atas, efek *offset* kapal akibat *surge drifting force* mulai berkurang sejak kedalaman 33 m dimana hal itu terlihat bahwa kapal sudah tidak melewati titik -190 yang merupakan titik acuan *pre-tension* untuk *hawser*.

4.6.4 Tren Nilai *Tension* Terhadap Variasi Kedalaman

4.6.4.1 Tren Nilai *Tension* Kondisi *Inline*

Tren nilai *tension* kondisi *inline* hanya menganalisis *tension* signifikan pada *mooring line* 1 dikarenakan pada penelitian kali ini yang mempunyai beban paling besar adalah pada *mooring line* 1. Tren nilai *tension* berdasarkan parameter lingkungan *non-dimensional water depth* (kh) dan parameter struktur (D/T) dapat dilihat pada Gambar 4.37 di bawah ini.

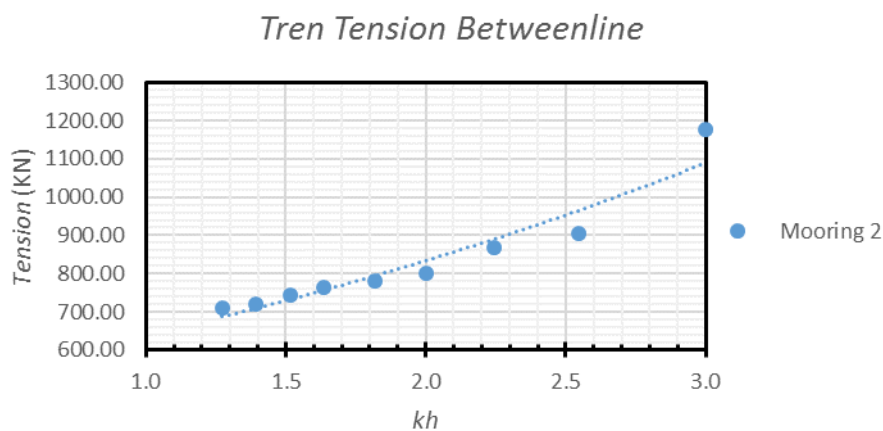


Gambar 4. 39 Tren *Tension Mooring Line* 1 kondisi *inline* berdasarkan (a) kh dan (b) D/T

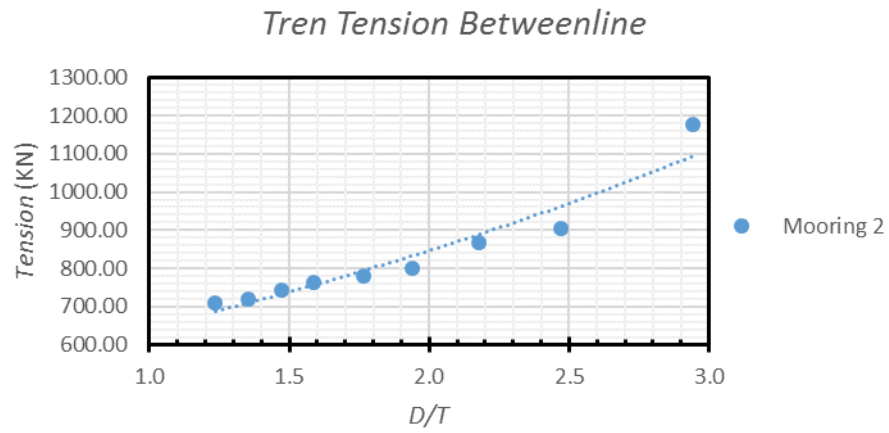
Tren *tension inline* berdasarkan kh maupun D/T memiliki karakteristik yang sama karena memiliki kedalaman perairan yang sama, perbedaannya hanya pada nilai rasio. Tren *tension* terus meningkat secara signifikan dimulai pada kedalaman 21 meter hingga pada kedalaman akhir 50 m. Tren kenaikan mulai terlihat stabil pada kedalaman akhir yaitu dari kedalaman 42 m menuju kedalaman 50 m dimana tren *tension* sudah mulai terlihat *steady*. *Pre-tension* yang digunakan untuk setiap variasi kedalaman adalah sama, yaitu sebesar 10% dari MBL karena kekakuan dari *mooring line* masih sanggup untuk menahan *CALM Buoy*. Analisis hanya sampai pada kedalaman 50 m dikarenakan batasan perairan dangkal berdasarkan panjang gelombang adalah maksimal sedalam 50 m.

4.6.4.2 Tren Nilai *Tension* Kondisi *Betweenline*

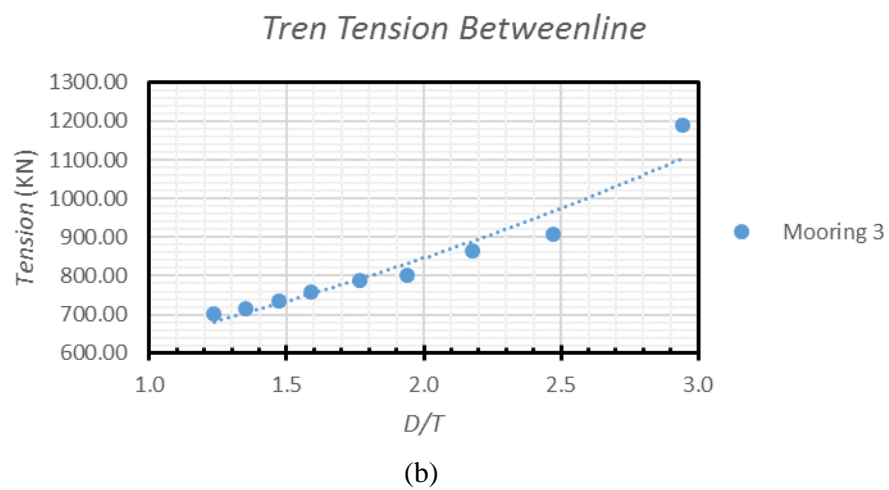
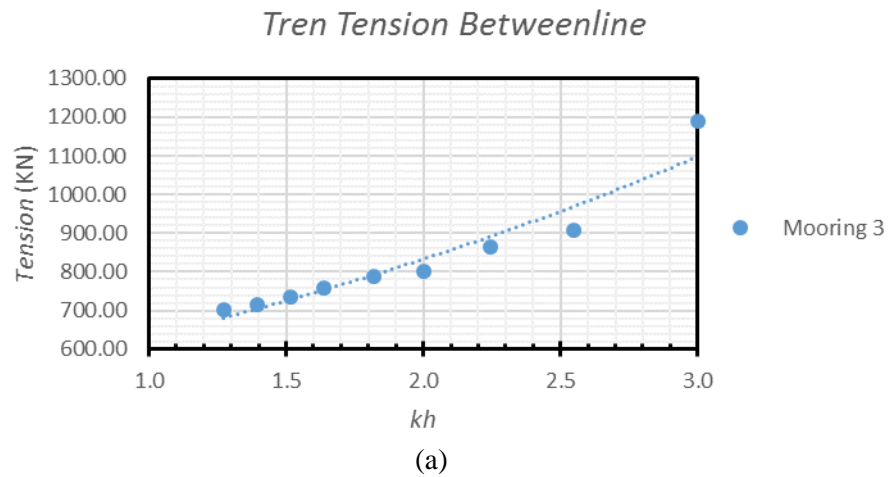
Tren nilai *tension* kondisi *betweenline* menganalisis 2 buah *mooring line* karena konfigurasi mengharuskan untuk dilakukan analisis pada kedua *mooring line* (lihat konfigurasi pada Gambar 4.32). Analisis dilakukan pada *tension* signifikan yang terjadi di *mooring line* 2 dan 3 dikarenakan pada penelitian kali ini yang mempunyai beban paling besar adalah pada *mooring line* 2 dan 3. Tren nilai *tension* berdasarkan parameter lingkungan *non-dimensional water depth* (kh) dan parameter struktur (D/T) dapat dilihat pada Gambar 4.38 di bawah ini.



(a)



Gambar 4. 38 Tren *Tension Mooring Line 2* kondisi *betweenline* berdasarkan (a) kh dan (b) D/T



Gambar 4. 39 Tren *Tension Mooring Line 3* kondisi *betweenline* berdasarkan (a) kh dan (b) D/T

Tren *tension betweenline* berdasarkan *kh* maupun *D/T* memiliki karakteristik yang sama karena memiliki kedalaman perairan yang sama, perbedaannya hanya pada nilai rasio. Tren *tension* terus meningkat secara signifikan dimulai pada kedalaman 21 m hingga pada kedalaman akhir 50 m. Tren kenaikan stabil pada kedalaman 21 m hingga pada kedalaman 42 m. Dari kedalaman 42 m menuju kedalaman 50 m terjadi peningkatan nilai *tension* secara drastis dikarenakan pada kondisi *betweenline* kedalaman 50 m terdapat perbedaan *pre-tension*, dimana *pre-tension* pada kedalaman-kedalaman sebelumnya yaitu sebesar 10% dari MBL harus mengalami perubahan menjadi sebesar 15% dari MBL. Perubahan besarnya nilai *pre-tension* dikarenakan *pre-tension* awal yang sebesar 10% dari MBL tidak dapat menahan gerak dari *CALM Buoy* sehingga diperlukan penyesuaian besarnya *pre-tension*. Pada *pre-tension* 15% dari MBL di kedalaman 50 m, besarnya nilai *tension* signifikan melebihi *tension* yang terjadi pada saat kedalaman 42 m dengan *pre-tension* 10% MBL, akan tetapi nilai *offset* dari *CALM Buoy* memiliki nilai lebih kecil (lihat Tabel 4.10). Analisis hanya sampai pada kedalaman 50 m dikarenakan batasan perairan dangkal berdasarkan panjang gelombang adalah maksimal sedalam 50 m.

4.7 RESPON GERAK CALM BUOY TERHADAP VARIASI KEDALAMAN

Dari analisis sebelumnya, diketahui bahwa *tension* pada *mooring line* yang cenderung meningkat seiring bertambahnya kedalaman daerah operasi berlawanan dengan hasil analisis RAO yang menunjukkan bahwa untuk gerakan translasional memiliki nilai semakin kecil apabila lokasi perairan semakin dalam. Nilai *tension* yang semakin besar seiring bertambahnya kedalaman operasi diakibatkan akibat bertambahnya nilai *heave* dan *offset* pada *CALM Buoy* akibat beban gelombang *second order*. Pengaruh beban gelombang *second order* akan tampak pada perilaku struktur bangunan apung yang tertambat (Faltinsen, 1990). Nilai *heave*, *offset* dan *roll/pitch* dari *CALM Buoy* dapat dilihat pada Tabel 4.10, Tabel 4.11 dan Tabel 4.12 di bawah ini.

Tabel 4.10 Nilai *Heave CALM Buoy* tiap variasi kedalaman

Description	Kedalaman (m)								
	21	23	25	27	30	33	37	42	50
MEAN (m)	0.84	0.87	0.92	0.96	1.02	1.08	1.15	1.23	1.45
Heave 1/3 highest (m)	0.91	0.95	1.00	1.04	1.10	1.17	1.25	1.37	1.62
Heave 1/10 highest (m)	0.95	0.99	1.04	1.08	1.15	1.21	1.31	1.45	1.72
Heave 1/100 highest (m)	1.00	1.05	1.10	1.14	1.21	1.29	1.40	1.58	1.88
MAX (m)	1.13	1.12	1.19	1.23	1.34	1.48	1.92	1.77	2.10

Tabel 4.11 Nilai *Offset CALM Buoy* tiap variasi kedalaman

Description	Kedalaman (m)								
	21	23	25	27	30	33	37	42	50
MEAN (m)	0.35	0.40	0.45	0.52	0.67	0.72	0.9	1.05	0.85
Offset 1/3 highest (m)	0.68	0.77	0.86	1.00	1.27	1.36	1.72	2.04	1.61
Offset 1/10 highest (m)	0.88	0.98	1.12	1.31	1.63	1.74	2.23	2.66	2.07
Offset 1/100 highest (m)	1.18	1.37	1.50	1.80	2.17	2.28	2.94	3.59	2.76
MAX (m)	1.55	1.99	1.97	2.54	2.8	3.53	3.89	4.47	3.70

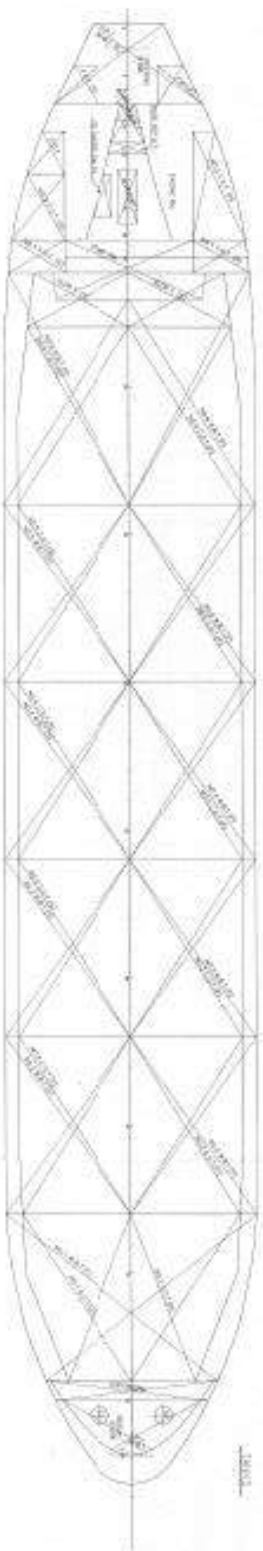
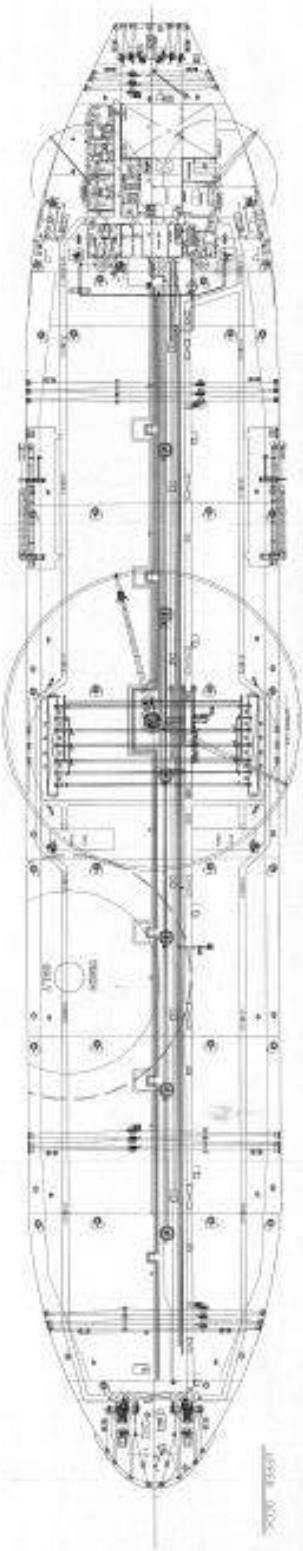
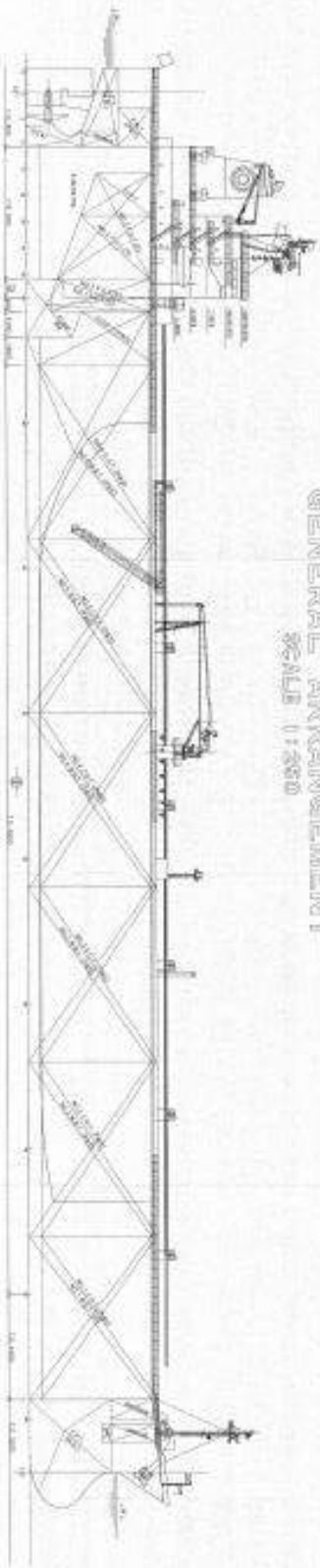
Tabel 4.12 Nilai *Roll/Pitch CALM Buoy* tiap variasi kedalaman

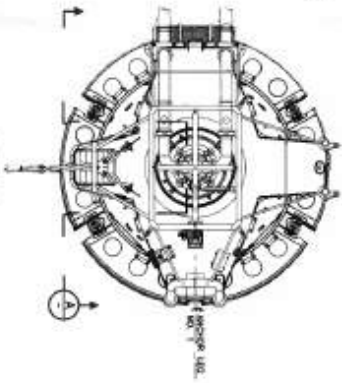
Description	Kedalaman								
	21	23	25	27	30	33	37	42	50
MEAN (deg)	6.80	8.26	8.85	8.90	9.75	9.80	11.10	12.90	10.20
Roll/Pitch 1/3 highest (deg)	12.80	16.06	16.95	17.37	18.50	18.62	21.20	25.74	20.10
Roll/Pitch 1/10 highest (deg)	16.60	20.59	21.71	22.18	23.87	24.25	27.24	34.50	26.22
Roll/Pitch 1/100 highest (deg)	21.90	26.39	27.56	28.31	31.44	34.70	35.90	46.98	35.11
MAX (deg)	29.40	33.22	33.50	33.80	40.27	45.00	48.78	59.50	44.00

Berdasarkan Tabel 4.10, Tabel 4.11 dan Tabel 4.12 di atas, nilai signifikan gerakan *heave*, *offset*, dan *roll/pitch CALM Buoy* cenderung naik untuk setiap variasi kedalaman. Hanya saja untuk kedalaman 50 m, *offset* dan *roll/pitch* dari *CALM Buoy* mengalami penurunan dikarenakan adanya penambahan *pre-tension* untuk *mooring line*. Penambahan *pre-tension* ini karena pada kedalaman 50 m, gerakan *buoy* akibat eksitasi gelombang sudah tidak stabil dan diperlukan desain ulang untuk *pre-tension* pada *mooring line*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANGELICA SCHULTE
GENERAL ARRANGEMENT
SCALE 1:1500





SECTION A

SOFREC	CHEMICAL APPARATUS MOSSING RIG ELEVATION	1850 - 190-AA-11-01 A
7/27/00 11:11 = 0007		

Tabel Perhitungan COG Tanker Berdasarkan GA.

Description	BERAT (TON)	konversion	LETAK X (m)	LETAK Y (m)	LETAK Z (m)	Moment	Jarak X	Moment	Jarak Z
HULL	25954.71	39.50	238.9457789	0	10.49	6201769	34.31758	272238.2	1.506434
SUPER STRUCTURE	2076.38		129	0	18.572	267852.6	1.482166	38562.48	0.213386
MESIN	827.57	40.50	245.00	0	9.3175	202749.7	1.121918	7710.851	0.042668
EQUIP	1858.34	20.00	120.99	0	25.5	224831.5	1.244108	47387.64	0.26222
tangki 1 dan 2	25000	5.1	30.85	0	13.6	771280.7	4.267892	340000	1.881395
tangki 3 dan 4	25000	10.45	63.21	0	13.6	1580369	8.744995	340000	1.881395
tangki 5 dan 6	25000	16	96.79	0	13.6	2419704	13.38947	340000	1.881395
tangki 7 dan 8	25000	21.5	130.06	0	13.6	3251477	17.9921	340000	1.881395
tangki 9 dan 10	25000	27	163.33	0	13.6	4083251	22.59472	340000	1.881395
tangki 11 dan12	25000	32.35	195.69	0	13.6	4892339	27.07183	340000	1.881395
Displacement	180717.00					LCG (m)	132.2268	VCG (m)	13.31308

KAPAL

surge

ω	Kedalaman								
	21	23	25	27	30	33	37	42	50
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.2	2.1E-229	2E-229	1.5E-229	2E-229	2E-229	1.7E-229	1.8E-229	2E-229	1.9E-229
0.25	1.12E-92	1.2E-92	1.34E-92	1.4E-92	1.27E-92	1.4E-92	1.39E-92	1.3E-92	1.37E-92
0.3	2.03E-44	3.34E-44	7.6E-44	7.2E-44	4.16E-44	6.8E-44	6.23E-44	4.8E-44	5.64E-44
0.35	1.16E-25	1.96E-24	2.35E-23	2E-23	4.16E-24	1.64E-23	1.29E-23	6.5E-24	9.89E-24
0.4	3.35E-14	6.15E-15	7.32E-14	5E-14	2.03E-15	3.22E-14	1.81E-14	2.7E-15	8.74E-15
0.45	8.26E-09	4.62E-09	2.04E-09	9.2E-10	3.04E-09	4.82E-10	5.25E-10	1.9E-09	9.65E-10
0.5	4.37E-06	4.41E-06	4.2E-07	7.1E-07	3.73E-06	1.13E-06	1.7E-06	3.1E-06	2.3E-06
0.55	0.000112	0.000139	6.26E-05	8.2E-05	0.000146	9.95E-05	0.000117	0.00014	0.000131
0.6	0.000659	0.000476	0.000855	0.00091	0.000664	0.000934	0.000931	0.00079	0.000893
0.65	0.001545	0.000664	0.002343	0.00216	0.000729	0.001942	0.001656	0.00097	0.001349
0.7	0.002627	0.001861	0.001901	0.00167	0.001439	0.001449	0.001264	0.00122	0.00117
0.75	0.003886	0.002683	0.002087	0.00211	0.002501	0.002173	0.002265	0.00244	0.002355
0.8	0.003822	0.002477	0.003263	0.00306	0.002027	0.002823	0.002475	0.0019	0.002114
0.85	0.002569	0.002096	0.001449	0.00122	0.001776	0.001065	0.001011	0.00147	0.001128
0.9	0.001648	0.001441	0.00082	0.00085	0.001347	0.000912	0.001003	0.00126	0.001121
0.95	0.00125	0.00104	0.00057	0.0006	0.000948	0.000652	0.000707	0.00087	0.000781
1	0.000816	0.00073	0.000452	0.0005	0.000693	0.000537	0.000571	0.00066	0.000613
1.05	0.000428	0.000396	0.000317	0.00033	0.000384	0.000341	0.000349	0.00037	0.000361
1.1	0.00028	0.000255	0.000206	0.00021	0.000245	0.000219	0.000223	0.00024	0.00023
1.15	0.000167	0.000156	0.000135	0.00014	0.000152	0.000141	0.000142	0.00015	0.000145
1.2	8.86E-05	8.41E-05	7.64E-05	7.7E-05	8.24E-05	7.8E-05	7.89E-05	8.1E-05	7.98E-05
1.25	5.83E-05	5.45E-05	4.89E-05	5E-05	5.33E-05	5.01E-05	5.09E-05	5.2E-05	5.14E-05
1.3	3.07E-05	2.96E-05	2.79E-05	2.8E-05	2.92E-05	2.82E-05	2.84E-05	2.9E-05	2.87E-05
1.35	2E-05	1.89E-05	1.75E-05	1.8E-05	1.86E-05	1.78E-05	1.79E-05	1.8E-05	1.81E-05
1.4	1.07E-05	1.04E-05	9.85E-06	9.9E-06	1.03E-05	9.96E-06	1E-05	1E-05	1.01E-05
1.45	7.1E-06	6.86E-06	6.48E-06	6.5E-06	6.77E-06	6.55E-06	6.59E-06	6.7E-06	6.63E-06
1.5	3.9E-06	3.78E-06	3.6E-06	3.6E-06	3.74E-06	3.63E-06	3.65E-06	3.7E-06	3.67E-06
1.55	2.49E-06	2.4E-06	2.29E-06	2.3E-06	2.37E-06	2.31E-06	2.32E-06	2.4E-06	2.34E-06
1.6	1.5E-06	1.47E-06	1.41E-06	1.4E-06	1.45E-06	1.42E-06	1.43E-06	1.4E-06	1.44E-06
1.65	9.42E-07	9.15E-07	8.79E-07	8.8E-07	9.07E-07	8.87E-07	8.92E-07	9E-07	8.95E-07
1.7	5.69E-07	5.58E-07	5.39E-07	5.4E-07	5.54E-07	5.43E-07	5.46E-07	5.5E-07	5.47E-07
1.75	3.72E-07	3.66E-07	3.55E-07	3.6E-07	3.63E-07	3.57E-07	3.59E-07	3.6E-07	3.6E-07
1.8	2.51E-07	2.48E-07	2.41E-07	2.4E-07	2.46E-07	2.43E-07	2.43E-07	2.5E-07	2.45E-07
1.85	1.64E-07	1.62E-07	1.59E-07	1.6E-07	1.61E-07	1.59E-07	1.6E-07	1.6E-07	1.6E-07
1.9	1.08E-07	1.06E-07	1.04E-07	1E-07	1.06E-07	1.04E-07	1.05E-07	1.1E-07	1.05E-07
1.95	7.14E-08	7.06E-08	6.91E-08	6.9E-08	7.04E-08	6.94E-08	6.96E-08	7E-08	6.98E-08
2	4.59E-08	4.55E-08	4.45E-08	4.5E-08	4.53E-08	4.47E-08	4.48E-08	4.5E-08	4.49E-08

sway

ω	Kedalaman								
	21	23	25	27	30	33	37	42	50
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.2	5.3E-229	4.8E-229	4.5E-229	4E-229	3.8E-229	3.4E-229	3.1E-229	3E-229	2.3E-229
0.25	6.15E-92	5.62E-92	5.19E-92	4.8E-92	4.37E-92	4E-92	3.61E-92	3.2E-92	2.76E-92
0.3	5.24E-43	4.77E-43	4.4E-43	4.1E-43	3.72E-43	3.42E-43	3.09E-43	2.8E-43	2.4E-43
0.35	3.01E-22	2.72E-22	2.5E-22	2.3E-22	2.11E-22	1.94E-22	1.77E-22	1.6E-22	1.39E-22
0.4	2.58E-12	2.26E-12	2.06E-12	1.9E-12	1.73E-12	1.59E-12	1.45E-12	1.3E-12	1.17E-12
0.45	4.39E-07	3.58E-07	3.16E-07	2.9E-07	2.6E-07	2.39E-07	2.19E-07	2E-07	1.8E-07
0.5	0.000186	0.000295	0.000284	0.00026	0.000237	0.000219	0.000201	0.00019	0.000173
0.55	0.000242	4.48E-07	0.000179	0.00055	0.001201	0.001825	0.002501	0.00308	0.003554
0.6	0.011072	0.008466	0.007036	0.00619	0.005465	0.005066	0.004774	0.00458	0.004399
0.65	0.051543	0.046159	0.042998	0.04092	0.038879	0.037475	0.036146	0.03497	0.033704
0.7	0.109306	0.102613	0.098345	0.09523	0.091762	0.089107	0.086435	0.084	0.081614
0.75	0.149617	0.1432	0.138928	0.13567	0.131898	0.128949	0.125973	0.1234	0.121089
0.8	0.157833	0.152123	0.148144	0.14505	0.141497	0.138765	0.136155	0.13405	0.132353
0.85	0.140673	0.136233	0.132961	0.13039	0.127402	0.125228	0.12322	0.12172	0.120641
0.9	0.110813	0.107786	0.105502	0.10372	0.101689	0.100249	0.098984	0.09811	0.097536
0.95	0.080018	0.078	0.076491	0.07533	0.074048	0.073184	0.072473	0.07202	0.071732
1	0.054521	0.053234	0.052277	0.05156	0.050799	0.050318	0.049948	0.04973	0.049546
1.05	0.035712	0.034948	0.034393	0.03399	0.03359	0.03335	0.033176	0.0331	0.033023
1.1	0.022695	0.022267	0.021969	0.02176	0.021571	0.02146	0.021395	0.02136	0.021337
1.15	0.014187	0.013964	0.013816	0.01372	0.013636	0.013592	0.013645	0.01356	0.013555
1.2	0.008767	0.008661	0.008596	0.00856	0.008527	0.008536	0.008512	0.00851	0.00851
1.25	0.005374	0.00533	0.005306	0.00529	0.005293	0.005291	0.005286	0.00529	0.005293
1.3	0.003274	0.003259	0.003253	0.00325	0.003255	0.003256	0.003259	0.00326	0.003266
1.35	0.001985	0.001983	0.001984	0.00199	0.00199	0.001993	0.001997	0.002	0.002002
1.4	0.001199	0.001202	0.001207	0.00121	0.001212	0.001215	0.001218	0.00122	0.001223
1.45	0.000728	0.000734	0.000736	0.00074	0.000741	0.000743	0.000745	0.00075	0.000749
1.5	0.000448	0.000454	0.000454	0.00046	0.000459	0.00046	0.000462	0.00046	0.000464
1.55	0.000285	0.000286	0.000287	0.00029	0.000291	0.000292	0.000293	0.00029	0.000295
1.6	0.000184	0.000186	0.000187	0.00019	0.00019	0.000191	0.000192	0.00019	0.000193
1.65	0.000122	0.000124	0.000125	0.00013	0.000127	0.000128	0.000129	0.00013	0.000129
1.7	8.23E-05	8.36E-05	8.45E-05	8.5E-05	8.58E-05	8.65E-05	8.68E-05	8.7E-05	8.74E-05
1.75	5.51E-05	5.59E-05	5.66E-05	5.7E-05	5.75E-05	5.78E-05	5.81E-05	5.8E-05	5.86E-05
1.8	3.61E-05	3.67E-05	3.72E-05	3.7E-05	3.79E-05	3.8E-05	3.82E-05	3.8E-05	3.85E-05
1.85	2.33E-05	2.38E-05	2.4E-05	2.4E-05	2.45E-05	2.47E-05	2.48E-05	2.5E-05	2.5E-05
1.9	1.52E-05	1.55E-05	1.57E-05	1.6E-05	1.6E-05	1.61E-05	1.62E-05	1.6E-05	1.63E-05
1.95	1.02E-05	1.04E-05	1.07E-05	1.1E-05	1.08E-05	1.09E-05	1.1E-05	1.1E-05	1.11E-05
2	7.23E-06	7.41E-06	7.53E-06	7.6E-06	7.68E-06	7.73E-06	7.79E-06	7.8E-06	7.93E-06

heave

ω	Kedalaman								
	21	23	25	27	30	33	37	42	50
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.2	6.8E-230	6.1E-230	5.7E-230	6E-230	5.3E-230	5.2E-230	5.1E-230	5E-230	5E-230
0.25	1.57E-92	1.3E-92	1.18E-92	1.1E-92	1.06E-92	1.03E-92	9.97E-93	9.7E-93	9.52E-93
0.3	2.52E-43	1.95E-43	1.7E-43	1.6E-43	1.45E-43	1.39E-43	1.33E-43	1.3E-43	1.24E-43
0.35	2.39E-22	1.86E-22	1.58E-22	1.4E-22	1.28E-22	1.2E-22	1.14E-22	1.1E-22	1.04E-22
0.4	2.12E-12	2.19E-12	1.96E-12	1.8E-12	1.58E-12	1.46E-12	1.36E-12	1.3E-12	1.22E-12
0.45	2E-07	3.06E-07	3.39E-07	3.4E-07	3.17E-07	2.99E-07	2.81E-07	2.7E-07	2.51E-07
0.5	8.52E-05	0.000146	0.000198	0.00023	0.000258	0.000267	0.000268	0.00027	0.00026
0.55	0.002293	0.004018	0.005688	0.0072	0.009092	0.01057	0.011975	0.01313	0.014228
0.6	0.012866	0.022708	0.032573	0.04187	0.054235	0.064801	0.075981	0.08604	0.095626
0.65	0.028874	0.049802	0.070617	0.09017	0.115774	0.13685	0.157488	0.17324	0.184146
0.7	0.038108	0.062789	0.085842	0.10627	0.131008	0.149321	0.164551	0.17522	0.175094
0.75	0.036762	0.05761	0.075328	0.08957	0.104682	0.113991	0.123402	0.12218	0.11773
0.8	0.028665	0.043055	0.054189	0.06226	0.069487	0.074582	0.076188	0.07363	0.070529
0.85	0.019169	0.027639	0.033617	0.03724	0.04062	0.042711	0.042042	0.04065	0.0392
0.9	0.011655	0.016127	0.018777	0.02048	0.021791	0.022515	0.021677	0.02109	0.020447
0.95	0.006598	0.008757	0.010042	0.01075	0.011245	0.011488	0.011017	0.01078	0.010517
1	0.003558	0.004581	0.005157	0.00544	0.005631	0.005716	0.005511	0.0054	0.005414
1.05	0.001845	0.002324	0.002578	0.00269	0.002766	0.002801	0.002719	0.00268	0.002699
1.1	0.000933	0.001153	0.001264	0.00131	0.001346	0.001363	0.00133	0.00135	0.001346
1.15	0.000463	0.000563	0.000612	0.00064	0.000654	0.000662	0.000653	0.00067	0.000671
1.2	0.000225	0.000272	0.000295	0.00031	0.000317	0.00032	0.000331	0.00033	0.000334
1.25	0.000106	0.000129	0.00014	0.00015	0.000151	0.000164	0.00016	0.00016	0.000165
1.3	4.91E-05	6.02E-05	6.39E-05	6.7E-05	8.18E-05	7.97E-05	7.74E-05	8E-05	8.21E-05
1.35	2.16E-05	2.64E-05	2.75E-05	4.3E-05	3.82E-05	3.85E-05	3.78E-05	3.9E-05	4.16E-05
1.4	8.73E-06	1.09E-05	1.65E-05	1.9E-05	1.81E-05	1.88E-05	1.89E-05	2E-05	2.34E-05
1.45	3.37E-06	6.61E-06	9.08E-06	8.6E-06	8.93E-06	9.38E-06	9.56E-06	1E-05	1.06E-05
1.5	2.1E-06	4.24E-06	4.11E-06	4.3E-06	4.64E-06	4.81E-06	5.02E-06	6E-06	5.56E-06
1.55	1.89E-06	1.95E-06	2.16E-06	2.3E-06	2.53E-06	2.59E-06	2.82E-06	2.9E-06	3.03E-06
1.6	8.72E-07	1.07E-06	1.22E-06	1.3E-06	1.41E-06	1.45E-06	1.61E-06	1.6E-06	1.68E-06
1.65	4.9E-07	5.93E-07	6.64E-07	7.2E-07	7.7E-07	8.08E-07	8.48E-07	8.8E-07	9.07E-07
1.7	2.49E-07	2.93E-07	3.29E-07	3.5E-07	3.87E-07	4.85E-07	4.25E-07	4.4E-07	4.54E-07
1.75	9.94E-08	1.21E-07	1.37E-07	1.4E-07	2.01E-07	1.82E-07	1.86E-07	1.9E-07	2.01E-07
1.8	2.78E-08	3.86E-08	4.33E-08	5.2E-08	2.22E-07	6.67E-08	6.93E-08	7.3E-08	7.77E-08
1.85	6.3E-09	1.15E-08	1.59E-08	3.8E-08	2.59E-08	2.64E-08	2.89E-08	3.2E-08	3.39E-08
1.9	7.84E-09	1.25E-08	1.95E-08	6.5E-08	2.08E-08	2.27E-08	2.48E-08	2.7E-08	2.81E-08
1.95	1.39E-08	1.85E-08	2.36E-08	2.3E-08	2.56E-08	2.75E-08	2.93E-08	3.1E-08	3.2E-08
2	1.49E-08	1.99E-08	2.17E-08	2.4E-08	2.58E-08	2.74E-08	2.87E-08	3E-08	3.06E-08

roll

ω	Kedalaman								
	21	23	25	27	30	33	37	42	50
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.2	3.8E-230	3.4E-230	3.1E-230	3E-230	2.6E-230	2.4E-230	2.1E-230	2E-230	1.6E-230
0.25	1.3E-92	1.15E-92	1.04E-92	9.6E-93	8.57E-93	7.78E-93	6.95E-93	6.2E-93	5.23E-93
0.3	2.95E-43	2.54E-43	2.28E-43	2.1E-43	1.85E-43	1.68E-43	1.5E-43	1.3E-43	1.13E-43
0.35	4.44E-22	3.66E-22	3.21E-22	2.9E-22	2.56E-22	2.31E-22	2.06E-22	1.8E-22	1.57E-22
0.4	1.07E-11	8.1E-12	6.84E-12	6.1E-12	5.26E-12	4.71E-12	4.19E-12	3.7E-12	3.22E-12
0.45	6.48E-06	4.06E-06	3.16E-06	2.7E-06	2.25E-06	1.98E-06	1.74E-06	1.5E-06	1.35E-06
0.5	0.021808	0.017823	0.013081	0.01042	0.008277	0.00708	0.006136	0.00544	0.004814
0.55	0.201454	0.352741	0.502606	0.64205	0.823746	0.97347	1.125943	1.25283	1.346935
0.6	0.613049	0.859179	1.034104	1.15288	1.253287	1.293645	1.293139	1.25364	1.173476
0.65	1.09744	1.394949	1.560997	1.64409	1.677209	1.655725	1.593377	1.50757	1.397158
0.7	1.318389	1.595821	1.727994	1.77788	1.771759	1.724879	1.645749	1.55552	1.455387
0.75	1.22002	1.42478	1.507393	1.52714	1.501239	1.452544	1.386374	1.3154	1.246368
0.8	0.966392	1.096558	1.13741	1.13666	1.104019	1.063007	1.013071	0.96529	0.924313
0.85	0.682295	0.761704	0.781629	0.77634	0.7507	0.722559	0.691086	0.66411	0.64319
0.9	0.435106	0.480157	0.490497	0.48594	0.470311	0.454308	0.437945	0.42516	0.415948
0.95	0.263135	0.287162	0.291245	0.28787	0.278983	0.270561	0.262912	0.25734	0.253663
1	0.154522	0.167635	0.16983	0.16826	0.164107	0.160295	0.157185	0.15498	0.153305
1.05	0.087577	0.094936	0.096489	0.09613	0.094625	0.093178	0.092038	0.09147	0.091189
1.1	0.048979	0.053281	0.054477	0.05466	0.054336	0.053882	0.053522	0.0535	0.053744
1.15	0.027357	0.030015	0.030959	0.03132	0.031463	0.031373	0.031758	0.03163	0.031829
1.2	0.015277	0.01693	0.017634	0.01799	0.01826	0.018342	0.018518	0.01868	0.018819
1.25	0.008601	0.009633	0.010141	0.01044	0.010689	0.010825	0.010963	0.01109	0.011186
1.3	0.004873	0.005521	0.00588	0.0061	0.00625	0.006399	0.006509	0.0066	0.006663
1.35	0.00278	0.003189	0.003422	0.00353	0.003702	0.003795	0.003873	0.00393	0.003976
1.4	0.001588	0.001835	0.001982	0.00209	0.002189	0.00225	0.002303	0.00234	0.002373
1.45	0.000894	0.001055	0.001175	0.00123	0.001295	0.001337	0.001372	0.0014	0.001419
1.5	0.000496	0.000641	0.000689	0.00073	0.000772	0.000799	0.000822	0.00084	0.000853
1.55	0.00033	0.000375	0.00041	0.00044	0.000468	0.000486	0.000501	0.00051	0.000521
1.6	0.00019	0.000227	0.000253	0.00027	0.000292	0.000304	0.000316	0.00032	0.000328
1.65	0.000117	0.000145	0.000164	0.00018	0.00019	0.000198	0.000206	0.00021	0.000214
1.7	7.76E-05	9.72E-05	0.00011	0.00012	0.000127	0.000134	0.000138	0.00014	0.000144
1.75	5.34E-05	6.63E-05	7.48E-05	8.1E-05	8.62E-05	9.06E-05	9.38E-05	9.6E-05	9.78E-05
1.8	3.6E-05	4.45E-05	5.02E-05	5.4E-05	5.79E-05	6.08E-05	6.3E-05	6.4E-05	6.57E-05
1.85	2.32E-05	2.88E-05	3.26E-05	3.5E-05	3.81E-05	3.98E-05	4.12E-05	4.2E-05	4.3E-05
1.9	1.44E-05	1.8E-05	2.1E-05	2.4E-05	2.44E-05	2.56E-05	2.65E-05	2.7E-05	2.78E-05
1.95	8.93E-06	1.16E-05	1.46E-05	1.5E-05	1.59E-05	1.67E-05	1.74E-05	1.8E-05	1.83E-05
2	6.11E-06	8.23E-06	9.36E-06	1E-05	1.11E-05	1.17E-05	1.22E-05	1.3E-05	1.3E-05

pitch

ω	Kedalaman								
	21	23	25	27	30	33	37	42	50
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.2	1.7E-230	1.4E-230	1.2E-230	1E-230	1E-230	9.3E-231	8.4E-231	8E-231	6.5E-231
0.25	5.21E-93	4.18E-93	3.65E-93	3.3E-93	2.95E-93	2.69E-93	2.42E-93	2.2E-93	1.89E-93
0.3	9.36E-44	7.35E-44	6.39E-44	5.8E-44	5.19E-44	4.76E-44	4.33E-44	3.9E-44	3.46E-44
0.35	8.18E-23	6.75E-23	6.02E-23	5.6E-23	5.11E-23	4.79E-23	4.45E-23	4.1E-23	3.75E-23
0.4	7.31E-13	6.97E-13	6.56E-13	6.3E-13	6E-13	5.8E-13	5.6E-13	5.4E-13	5.13E-13
0.45	8.23E-08	9.45E-08	9.98E-08	1E-07	1.03E-07	1.04E-07	1.05E-07	1.1E-07	1.06E-07
0.5	2.85E-05	4.21E-05	5.25E-05	6.1E-05	6.97E-05	7.61E-05	8.21E-05	8.8E-05	9.36E-05
0.55	0.000348	0.000655	0.000984	0.00132	0.001794	0.002231	0.002729	0.00322	0.003785
0.6	0.000601	0.001256	0.002126	0.00316	0.004886	0.006676	0.008943	0.01134	0.013993
0.65	0.001491	0.001892	0.0023	0.00282	0.003812	0.004945	0.006444	0.00802	0.009612
0.7	0.004724	0.006238	0.007136	0.00766	0.008099	0.008384	0.00869	0.00903	0.009473
0.75	0.00622	0.00895	0.011065	0.01266	0.014331	0.015432	0.016479	0.01706	0.017574
0.8	0.004356	0.006491	0.008256	0.00966	0.011194	0.0123	0.013155	0.01361	0.013964
0.85	0.001962	0.002902	0.003687	0.0043	0.004978	0.005458	0.005782	0.00598	0.006118
0.9	0.001045	0.001431	0.001721	0.00195	0.0022	0.002384	0.002528	0.00264	0.002743
0.95	0.000879	0.001176	0.001394	0.00156	0.001747	0.001889	0.001992	0.00209	0.002177
1	0.000597	0.000808	0.000962	0.00108	0.001204	0.001299	0.00135	0.0014	0.001466
1.05	0.000251	0.000336	0.000398	0.00044	0.000492	0.000529	0.000544	0.00056	0.000586
1.1	0.00013	0.000171	0.000199	0.00022	0.000246	0.000266	0.000273	0.00029	0.000303
1.15	9.8E-05	0.000129	0.000152	0.00017	0.000189	0.000203	0.000209	0.00022	0.00023
1.2	4.65E-05	6.04E-05	7.04E-05	7.8E-05	8.69E-05	9.21E-05	9.63E-05	1E-04	0.000103
1.25	2.23E-05	2.89E-05	3.37E-05	3.7E-05	4.18E-05	4.45E-05	4.69E-05	4.9E-05	5.12E-05
1.3	1.45E-05	1.89E-05	2.24E-05	2.5E-05	2.69E-05	2.93E-05	3.09E-05	3.2E-05	3.38E-05
1.35	7.48E-06	9.59E-06	1.12E-05	1.2E-05	1.35E-05	1.45E-05	1.52E-05	1.6E-05	1.66E-05
1.4	3.75E-06	4.95E-06	5.83E-06	6.4E-06	7.13E-06	7.67E-06	8.12E-06	8.5E-06	9.05E-06
1.45	2.4E-06	3E-06	3.32E-06	3.8E-06	4.21E-06	4.5E-06	4.77E-06	5E-06	5.22E-06
1.5	1.24E-06	1.54E-06	1.82E-06	2E-06	2.26E-06	2.42E-06	2.57E-06	2.7E-06	2.84E-06
1.55	6.16E-07	8.54E-07	1.01E-06	1.1E-06	1.25E-06	1.34E-06	1.43E-06	1.5E-06	1.58E-06
1.6	3.86E-07	5.08E-07	5.96E-07	6.6E-07	7.37E-07	7.85E-07	8.72E-07	9E-07	9.37E-07
1.65	2.33E-07	3.03E-07	3.53E-07	3.9E-07	4.34E-07	4.56E-07	4.97E-07	5.2E-07	5.45E-07
1.7	1.34E-07	1.75E-07	2.06E-07	2.3E-07	2.53E-07	2.69E-07	2.96E-07	3.1E-07	3.26E-07
1.75	9.74E-08	1.23E-07	1.43E-07	1.6E-07	1.71E-07	1.86E-07	1.98E-07	2.1E-07	2.16E-07
1.8	5.37E-08	6.99E-08	8.17E-08	9.1E-08	9.63E-08	1.09E-07	1.16E-07	1.2E-07	1.28E-07
1.85	3.91E-08	4.97E-08	5.75E-08	6.3E-08	7.02E-08	7.51E-08	7.97E-08	8.4E-08	8.71E-08
1.9	2.33E-08	3.01E-08	3.43E-08	3.5E-08	4.29E-08	4.61E-08	4.9E-08	5.1E-08	5.36E-08
1.95	1.44E-08	1.87E-08	2.29E-08	2.4E-08	2.7E-08	2.9E-08	3.09E-08	3.3E-08	3.39E-08
2	1.01E-08	1.23E-08	1.47E-08	1.6E-08	1.82E-08	1.94E-08	2.06E-08	2.2E-08	2.25E-08

yaw

ω	Kedalaman								
	21	23	25	27	30	33	37	42	50
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.2	5.1E-230	4.3E-230	3.6E-230	3E-230	2.5E-230	2.1E-230	1.7E-230	1E-230	1E-230
0.25	7.87E-93	6.65E-93	5.72E-93	5E-93	4.16E-93	3.53E-93	2.91E-93	2.3E-93	1.76E-93
0.3	7.64E-44	6.6E-44	5.79E-44	5.1E-44	4.37E-44	3.78E-44	3.19E-44	2.6E-44	2.04E-44
0.35	4.29E-23	3.81E-23	3.43E-23	3.1E-23	2.72E-23	2.42E-23	2.09E-23	1.8E-23	1.44E-23
0.4	2.93E-13	2.72E-13	2.53E-13	2.4E-13	2.14E-13	1.96E-13	1.75E-13	1.5E-13	1.31E-13
0.45	2.82E-08	2.82E-08	2.77E-08	2.7E-08	2.56E-08	2.43E-08	2.27E-08	2.1E-08	1.86E-08
0.5	9.14E-06	1.07E-05	1.17E-05	1.2E-05	1.27E-05	1.27E-05	1.26E-05	1.2E-05	1.17E-05
0.55	0.000131	0.00018	0.000219	0.00025	0.000283	0.000306	0.000326	0.00034	0.000351
0.6	0.000143	0.000335	0.000545	0.00075	0.001025	0.001252	0.001485	0.00169	0.001882
0.65	7.03E-05	5.28E-06	9.31E-05	0.00027	0.000597	0.000942	0.001359	0.00177	0.002208
0.7	0.001549	0.000913	0.000495	0.00024	5.24E-05	7.95E-06	4.9E-05	0.00015	0.000281
0.75	0.003586	0.003011	0.002501	0.00208	0.001591	0.001254	0.000965	0.00076	0.000613
0.8	0.003328	0.003301	0.003203	0.00308	0.002894	0.002739	0.002588	0.00247	0.002391
0.85	0.001546	0.001727	0.001843	0.00192	0.001975	0.002003	0.00202	0.00203	0.002034
0.9	0.00052	0.000558	0.000599	0.00063	0.000674	0.0007	0.00072	0.00073	0.000741
0.95	0.000468	0.000404	0.000366	0.00034	0.000325	0.000315	0.000308	0.0003	0.000302
1	0.000454	0.000408	0.000378	0.00036	0.000339	0.000329	0.000321	0.00032	0.000316
1.05	0.000324	0.00031	0.000299	0.00029	0.000286	0.000283	0.000281	0.00028	0.00028
1.1	0.000216	0.000212	0.000209	0.00021	0.000207	0.000206	0.000206	0.00021	0.000206
1.15	0.000111	0.000108	0.000106	0.0001	0.000104	0.000103	0.000103	0.0001	0.000103
1.2	6.9E-05	6.53E-05	6.31E-05	6.2E-05	6.08E-05	6.02E-05	5.99E-05	6E-05	5.96E-05
1.25	6.47E-05	6.34E-05	6.26E-05	6.2E-05	6.17E-05	6.16E-05	6.14E-05	6.1E-05	6.14E-05
1.3	3.21E-05	3.16E-05	3.13E-05	3.1E-05	3.1E-05	3.11E-05	3.1E-05	3.1E-05	3.1E-05
1.35	1.92E-05	1.87E-05	1.84E-05	1.8E-05	1.81E-05	1.8E-05	1.8E-05	1.8E-05	1.79E-05
1.4	1.59E-05	1.57E-05	1.56E-05	1.5E-05	1.54E-05	1.54E-05	1.54E-05	1.5E-05	1.54E-05
1.45	8.73E-06	8.64E-06	8.58E-06	8.6E-06	8.55E-06	8.55E-06	8.55E-06	8.5E-06	8.55E-06
1.5	5.89E-06	5.82E-06	5.79E-06	5.8E-06	5.75E-06	5.74E-06	5.74E-06	5.7E-06	5.73E-06
1.55	3.85E-06	3.81E-06	3.79E-06	3.8E-06	3.77E-06	3.77E-06	3.76E-06	3.8E-06	3.76E-06
1.6	2.64E-06	2.63E-06	2.63E-06	2.6E-06	2.63E-06	2.63E-06	2.63E-06	2.6E-06	2.63E-06
1.65	1.48E-06	1.47E-06	1.46E-06	1.5E-06	1.46E-06	1.45E-06	1.45E-06	1.5E-06	1.45E-06
1.7	1.2E-06	1.2E-06	1.19E-06	1.2E-06	1.19E-06	1.19E-06	1.2E-06	1.2E-06	1.2E-06
1.75	6.51E-07	6.5E-07	6.5E-07	6.5E-07	6.5E-07	6.5E-07	6.5E-07	6.5E-07	6.51E-07
1.8	5.14E-07	5.14E-07	5.14E-07	5.1E-07	5.13E-07	5.13E-07	5.13E-07	5.1E-07	5.14E-07
1.85	3.1E-07	3.1E-07	3.11E-07	3.1E-07	3.12E-07	3.12E-07	3.12E-07	3.1E-07	3.12E-07
1.9	2.18E-07	2.18E-07	2.19E-07	2.2E-07	2.19E-07	2.19E-07	2.19E-07	2.2E-07	2.19E-07
1.95	1.52E-07	1.52E-07	1.53E-07	1.5E-07	1.53E-07	1.53E-07	1.53E-07	1.5E-07	1.53E-07
2	9.54E-08	9.55E-08	9.57E-08	9.6E-08	9.59E-08	9.6E-08	9.61E-08	9.6E-08	9.61E-08

CALM BUOY

surge

ω	Kedalaman								
	21	23	25	27	30	33	37	42	50
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.2	5.6E-229	5.1E-229	5E-229	4.4E-229	4E-229	4E-229	3.3E-229	3E-229	2.5E-229
0.25	6.66E-92	6.11E-92	5.6E-92	5.25E-92	4.76E-92	4.4E-92	3.92E-92	3.5E-92	2.99E-92
0.3	5.76E-43	5.3E-43	4.9E-43	4.57E-43	4.16E-43	3.8E-43	3.45E-43	3.1E-43	2.67E-43
0.35	3.29E-22	3.03E-22	2.8E-22	2.63E-22	2.4E-22	2.2E-22	2.01E-22	1.8E-22	1.58E-22
0.4	2.55E-12	2.36E-12	2.2E-12	2.06E-12	1.89E-12	1.7E-12	1.6E-12	1.5E-12	1.28E-12
0.45	4E-07	3.71E-07	3.5E-07	3.27E-07	3.01E-07	2.8E-07	2.58E-07	2.4E-07	2.12E-07
0.5	0.00026	0.000242	0.00023	0.000214	0.000199	0.00019	0.000173	0.00016	0.000146
0.55	0.010837	0.010142	0.00956	0.009074	0.008473	0.00799	0.007488	0.00702	0.006508
0.6	0.097446	0.091658	0.08686	0.082846	0.077949	0.07408	0.070107	0.06649	0.06276
0.65	0.358534	0.33913	0.32318	0.309944	0.294015	0.28168	0.269302	0.25848	0.248005
0.7	0.768791	0.731582	0.70133	0.676548	0.647256	0.62514	0.603704	0.58588	0.569977
0.75	1.177485	1.127638	1.08772	1.055564	1.018471	0.99138	0.966251	0.94662	0.930691
0.8	1.454371	1.401911	1.36072	1.328266	1.291962	1.26654	1.244163	1.22791	1.216047
0.85	1.560807	1.514273	1.47863	1.451325	1.421907	1.4023	1.386064	1.37518	1.368089
0.9	1.525239	1.488933	1.46196	1.441979	1.421369	1.40839	1.398338	1.39216	1.388575
0.95	1.398409	1.372845	1.35453	1.341462	1.328633	1.32104	1.315563	1.31249	1.310906
1	1.226336	1.209819	1.19846	1.190696	1.183467	1.17946	1.176778	1.17541	1.174781
1.05	1.041644	1.031757	1.02526	1.021013	1.017274	1.01534	1.014139	1.01358	1.013357
1.1	0.863992	0.858471	0.85501	0.852855	0.851063	0.8502	0.849699	0.84949	0.849415
1.15	0.703496	0.700603	0.69888	0.697853	0.697047	0.69668	0.696485	0.69642	0.696392
1.2	0.564167	0.562738	0.56192	0.561463	0.561119	0.56097	0.5609	0.56087	0.560867
1.25	0.44648	0.445806	0.44544	0.445239	0.445094	0.44504	0.44501	0.445	0.444997
1.3	0.349046	0.348738	0.34857	0.348487	0.348426	0.3484	0.348392	0.34839	0.348385
1.35	0.269644	0.269501	0.26943	0.269384	0.269359	0.26935	0.269342	0.26934	0.269338
1.4	0.205803	0.205732	0.20569	0.205675	0.205661	0.20566	0.205651	0.20565	0.205649
1.45	0.155118	0.155074	0.15506	0.155048	0.15504	0.15504	0.155033	0.15503	0.155031
1.5	0.115391	0.115369	0.11536	0.115352	0.115346	0.11534	0.115342	0.11534	0.11534
1.55	0.084687	0.084675	0.08467	0.084662	0.084659	0.08466	0.084656	0.08466	0.084655
1.6	0.061315	0.061306	0.0613	0.061298	0.061295	0.06129	0.061294	0.06129	0.061293
1.65	0.043812	0.043806	0.0438	0.043801	0.043799	0.0438	0.043798	0.0438	0.043797
1.7	0.030928	0.030924	0.03092	0.030921	0.03092	0.03092	0.030919	0.03092	0.030919
1.75	0.021604	0.021602	0.0216	0.0216	0.021599	0.0216	0.021599	0.0216	0.021599
1.8	0.014965	0.014963	0.01496	0.014962	0.014962	0.01496	0.014961	0.01496	0.014961
1.85	0.010302	0.010301	0.0103	0.010301	0.0103	0.0103	0.0103	0.0103	0.0103
1.9	0.007066	0.007066	0.00707	0.007066	0.007065	0.00707	0.007065	0.00707	0.007065
1.95	0.00484	0.00484	0.00484	0.00484	0.00484	0.00484	0.00484	0.00484	0.00484
2	0.003318	0.003318	0.00332	0.003318	0.003318	0.00332	0.003318	0.00332	0.003318

sway

ω	Kedalaman								
	21	23	25	27	30	33	37	42	50
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.2	5.6E-229	5.1E-229	5E-229	4.4E-229	4E-229	4E-229	3.3E-229	3E-229	2.5E-229
0.25	6.66E-92	6.11E-92	5.6E-92	5.25E-92	4.76E-92	4.4E-92	3.92E-92	3.5E-92	2.99E-92
0.3	5.76E-43	5.3E-43	4.9E-43	4.57E-43	4.16E-43	3.8E-43	3.45E-43	3.1E-43	2.67E-43
0.35	3.29E-22	3.03E-22	2.8E-22	2.63E-22	2.4E-22	2.2E-22	2.01E-22	1.8E-22	1.58E-22
0.4	2.55E-12	2.36E-12	2.2E-12	2.06E-12	1.89E-12	1.7E-12	1.6E-12	1.5E-12	1.28E-12
0.45	4E-07	3.71E-07	3.5E-07	3.27E-07	3.01E-07	2.8E-07	2.58E-07	2.4E-07	2.12E-07
0.5	0.00026	0.000242	0.00023	0.000214	0.000199	0.00019	0.000173	0.00016	0.000146
0.55	0.010837	0.010142	0.00956	0.009074	0.008473	0.00799	0.007488	0.00702	0.006508
0.6	0.097446	0.091658	0.08686	0.082846	0.077949	0.07408	0.070107	0.06649	0.06276
0.65	0.358534	0.33913	0.32318	0.309944	0.294015	0.28168	0.269302	0.25848	0.248005
0.7	0.768791	0.731582	0.70133	0.676548	0.647256	0.62514	0.603704	0.58588	0.569977
0.75	1.177485	1.127638	1.08772	1.055564	1.018471	0.99138	0.966251	0.94662	0.930691
0.8	1.454371	1.401911	1.36072	1.328266	1.291962	1.26654	1.244163	1.22791	1.216047
0.85	1.560807	1.514273	1.47863	1.451325	1.421907	1.4023	1.386064	1.37518	1.368089
0.9	1.525239	1.488933	1.46196	1.441979	1.421369	1.40839	1.398338	1.39216	1.388575
0.95	1.398409	1.372845	1.35453	1.341462	1.328633	1.32104	1.315563	1.31249	1.310906
1	1.226336	1.209819	1.19846	1.190696	1.183467	1.17946	1.176778	1.17541	1.174781
1.05	1.041644	1.031757	1.02526	1.021013	1.017274	1.01534	1.014139	1.01358	1.013357
1.1	0.863992	0.858471	0.85501	0.852855	0.851063	0.8502	0.849699	0.84949	0.849415
1.15	0.703496	0.700603	0.69888	0.697853	0.697047	0.69668	0.696485	0.69642	0.696392
1.2	0.564167	0.562738	0.56192	0.561463	0.561119	0.56097	0.5609	0.56087	0.560867
1.25	0.44648	0.445806	0.44544	0.445239	0.445094	0.44504	0.44501	0.445	0.444997
1.3	0.349046	0.348738	0.34857	0.348487	0.348426	0.3484	0.348392	0.34839	0.348385
1.35	0.269644	0.269501	0.26943	0.269384	0.269359	0.26935	0.269342	0.26934	0.269338
1.4	0.205803	0.205732	0.20569	0.205675	0.205661	0.20566	0.205651	0.20565	0.205649
1.45	0.155118	0.155074	0.15506	0.155048	0.15504	0.15504	0.155033	0.15503	0.155031
1.5	0.115391	0.115369	0.11536	0.115352	0.115346	0.11534	0.115342	0.11534	0.11534
1.55	0.084687	0.084675	0.08467	0.084662	0.084659	0.08466	0.084656	0.08466	0.084655
1.6	0.061315	0.061306	0.0613	0.061298	0.061295	0.06129	0.061294	0.06129	0.061293
1.65	0.043812	0.043806	0.0438	0.043801	0.043799	0.0438	0.043798	0.0438	0.043797
1.7	0.030928	0.030924	0.03092	0.030921	0.03092	0.03092	0.030919	0.03092	0.030919
1.75	0.021604	0.021602	0.0216	0.0216	0.021599	0.0216	0.021599	0.0216	0.021599
1.8	0.014965	0.014963	0.01496	0.014962	0.014962	0.01496	0.014961	0.01496	0.014961
1.85	0.010302	0.010301	0.0103	0.010301	0.0103	0.0103	0.0103	0.0103	0.0103
1.9	0.007066	0.007066	0.00707	0.007066	0.007065	0.00707	0.007065	0.00707	0.007065
1.95	0.00484	0.00484	0.00484	0.00484	0.00484	0.00484	0.00484	0.00484	0.00484
2	0.003318	0.003318	0.00332	0.003318	0.003318	0.00332	0.003318	0.00332	0.003318

heave

ω	Kedalaman								
	21	23	25	27	30	33	37	42	50
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.2	4.8E-230	4.8E-230	5E-230	4.8E-230	4.8E-230	5E-230	4.8E-230	5E-230	4.8E-230
0.25	8.85E-93	8.84E-93	8.8E-93	8.82E-93	8.81E-93	8.8E-93	8.79E-93	8.8E-93	8.78E-93
0.3	1.1E-43	1.1E-43	1.1E-43	1.1E-43	1.1E-43	1.1E-43	1.09E-43	1.1E-43	1.09E-43
0.35	8.61E-23	8.58E-23	8.6E-23	8.55E-23	8.53E-23	8.5E-23	8.49E-23	8.5E-23	8.46E-23
0.4	9.07E-13	9.04E-13	9E-13	8.98E-13	8.96E-13	8.9E-13	8.91E-13	8.9E-13	8.86E-13
0.45	1.59E-07	1.58E-07	1.6E-07	1.57E-07	1.56E-07	1.6E-07	1.55E-07	1.5E-07	1.54E-07
0.5	0.000133	0.000132	0.00013	0.000131	0.00013	0.00013	0.000129	0.00013	0.000128
0.55	0.006857	0.006802	0.00676	0.006718	0.006673	0.00664	0.006599	0.00656	0.006526
0.6	0.075195	0.074438	0.07382	0.073303	0.072691	0.0722	0.071718	0.07127	0.070818
0.65	0.338112	0.333868	0.33042	0.327581	0.324284	0.32171	0.319195	0.31699	0.314841
0.7	0.900428	0.886651	0.87553	0.866557	0.856151	0.84831	0.840955	0.8348	0.829391
0.75	1.782588	1.749004	1.72286	1.702086	1.678731	1.66172	1.646412	1.63437	1.624775
0.8	3.096172	3.026372	2.97371	2.932739	2.887507	2.857	2.830336	2.81113	2.796878
0.85	5.651086	5.502752	5.39356	5.310867	5.227012	5.17188	5.125957	5.09506	5.074319
0.9	16.08982	15.6554	15.3419	15.13229	14.91886	14.7857	14.68004	14.6119	14.56548
0.95	26.20896	25.95197	25.431	24.82985	23.98225	23.3132	22.70974	22.2945	22.03621
1	2.538172	2.403804	2.30916	2.242341	2.178027	2.1411	2.115402	2.10186	2.095106
1.05	0.249508	0.231148	0.21899	0.210993	0.203811	0.20005	0.197519	0.19632	0.195771
1.1	0.018445	0.015869	0.0143	0.013352	0.012535	0.01212	0.01187	0.01177	0.011694
1.15	0.000398	0.000648	0.00083	0.000958	0.001068	0.00113	0.001154	0.00118	0.001184
1.2	0.008182	0.00877	0.00911	0.00934	0.009515	0.00957	0.009632	0.00967	0.009671
1.25	0.014397	0.014842	0.01511	0.015249	0.015363	0.01543	0.015454	0.01548	0.0155
1.3	0.016493	0.016777	0.01693	0.017019	0.017085	0.01713	0.017151	0.01715	0.017151
1.35	0.015831	0.015987	0.01607	0.016125	0.016164	0.01618	0.016184	0.0162	0.016204
1.4	0.013822	0.013905	0.01394	0.013973	0.014006	0.01401	0.014023	0.01402	0.014023
1.45	0.011381	0.011423	0.01146	0.011478	0.011492	0.01149	0.011506	0.01151	0.011506
1.5	0.009036	0.00907	0.00908	0.009092	0.009092	0.0091	0.009104	0.0091	0.009104
1.55	0.006992	0.00701	0.00702	0.00702	0.007029	0.00703	0.007029	0.00703	0.007029
1.6	0.005311	0.005319	0.00533	0.005326	0.005326	0.00533	0.005333	0.00533	0.005333
1.65	0.00398	0.003985	0.00399	0.003985	0.003991	0.00399	0.003991	0.00399	0.003991
1.7	0.002949	0.002954	0.00295	0.002958	0.002958	0.00296	0.002958	0.00296	0.002958
1.75	0.002172	0.002175	0.00218	0.002175	0.002175	0.00218	0.002179	0.00218	0.002179
1.8	0.001591	0.001594	0.00159	0.001594	0.001594	0.00159	0.001594	0.00159	0.001594
1.85	0.001162	0.001162	0.00116	0.001162	0.001162	0.00116	0.001162	0.00116	0.001162
1.9	0.000845	0.000845	0.00085	0.000845	0.000845	0.00085	0.000847	0.00085	0.000847
1.95	0.000614	0.000614	0.00061	0.000614	0.000614	0.00061	0.000614	0.00061	0.000614
2	0.000446	0.000446	0.00045	0.000446	0.000446	0.00045	0.000446	0.00045	0.000446

roll

ω	Kedalaman								
	21	23	25	27	30	33	37	42	50
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.2	4.6E-230	4.2E-230	4E-230	3.6E-230	3.3E-230	3E-230	2.7E-230	2E-230	2E-230
0.25	1.79E-92	1.64E-92	1.5E-92	1.41E-92	1.27E-92	1.2E-92	1.05E-92	9.3E-93	7.94E-93
0.3	5.11E-43	4.68E-43	4.3E-43	4.02E-43	3.65E-43	3.3E-43	3.01E-43	2.7E-43	2.32E-43
0.35	1.21E-21	1.11E-21	1E-21	9.54E-22	8.67E-22	8E-22	7.22E-22	6.5E-22	5.63E-22
0.4	1.14E-10	1.05E-10	9.7E-11	9.06E-11	8.27E-11	7.6E-11	6.94E-11	6.3E-11	5.51E-11
0.45	2.29E-05	2.11E-05	2E-05	1.83E-05	1.68E-05	1.6E-05	1.42E-05	1.3E-05	1.16E-05
0.5	0.001936	0.001786	0.00166	0.001559	0.001433	0.00133	0.001228	0.00113	0.001021
0.55	0.032163	0.029712	0.02771	0.026057	0.024056	0.02249	0.020869	0.01938	0.017801
0.6	0.153085	0.141594	0.13232	0.124728	0.115676	0.10869	0.101653	0.09538	0.089031
0.65	0.329731	0.305177	0.28564	0.269856	0.251379	0.23745	0.223803	0.21214	0.201082
0.7	0.421835	0.390195	0.36546	0.34584	0.323391	0.30696	0.291456	0.27887	0.267883
0.75	0.370457	0.341639	0.31961	0.302538	0.283559	0.27018	0.258118	0.24893	0.241624
0.8	0.235226	0.215147	0.20024	0.189007	0.176966	0.16886	0.161934	0.15703	0.153513
0.85	0.102009	0.091261	0.08358	0.078013	0.07231	0.06867	0.065761	0.06386	0.062634
0.9	0.020712	0.017007	0.01454	0.01287	0.011274	0.01033	0.009641	0.00923	0.008993
0.95	0.000448	0.000986	0.00149	0.001903	0.002352	0.00264	0.002853	0.00298	0.003042
1	1.02E-31	1.02E-31	1E-31	1.02E-31	1.02E-31	1E-31	1.02E-31	1E-31	1.02E-31
1.05	6.06E-32	6.06E-32	6.1E-32	6.06E-32	6.06E-32	6.1E-32	6.06E-32	6.1E-32	6.06E-32
1.1	3.47E-33	3.47E-33	3.5E-33	3.47E-33	3.47E-33	3.5E-33	3.47E-33	3.5E-33	3.47E-33
1.15	7.8E-33	7.8E-33	7.8E-33	7.8E-33	7.8E-33	7.8E-33	7.8E-33	7.8E-33	7.8E-33
1.2	4.57E-32	4.57E-32	4.6E-32	4.57E-32	4.57E-32	4.6E-32	4.57E-32	4.6E-32	4.57E-32
1.25	3.11E-32	3.11E-32	3.1E-32	3.11E-32	3.11E-32	3.1E-32	3.11E-32	3.1E-32	3.11E-32
1.3	8.51E-33	8.51E-33	8.5E-33	8.51E-33	8.51E-33	8.5E-33	8.51E-33	8.5E-33	8.51E-33
1.35	1.37E-32	1.37E-32	1.4E-32	1.37E-32	1.37E-32	1.4E-32	1.37E-32	1.4E-32	1.37E-32
1.4	4.97E-33	4.97E-33	5E-33	4.97E-33	4.97E-33	5E-33	4.97E-33	5E-33	4.97E-33
1.45	1.28E-33	1.28E-33	1.3E-33	1.28E-33	1.28E-33	1.3E-33	1.28E-33	1.3E-33	1.28E-33
1.5	3.95E-33	3.95E-33	4E-33	3.95E-33	3.95E-33	4E-33	3.95E-33	4E-33	3.95E-33
1.55	2.09E-33	2.09E-33	2.1E-33	2.09E-33	2.09E-33	2.1E-33	2.09E-33	2.1E-33	2.09E-33
1.6	5.79E-34	5.79E-34	5.8E-34	5.79E-34	5.79E-34	5.8E-34	5.79E-34	5.8E-34	5.79E-34
1.65	4.51E-34	4.51E-34	4.5E-34	4.51E-34	4.51E-34	4.5E-34	4.51E-34	4.5E-34	4.51E-34
1.7	1.97E-34	1.97E-34	2E-34	1.97E-34	1.97E-34	2E-34	1.97E-34	2E-34	1.97E-34
1.75	2.04E-33	2.04E-33	2E-33	2.04E-33	2.04E-33	2E-33	2.04E-33	2E-33	2.04E-33
1.8	1.39E-34	1.39E-34	1.4E-34	1.39E-34	1.39E-34	1.4E-34	1.39E-34	1.4E-34	1.39E-34
1.85	8.84E-34	8.84E-34	8.8E-34	8.84E-34	8.84E-34	8.8E-34	8.84E-34	8.8E-34	8.84E-34
1.9	4.55E-35	4.55E-35	4.5E-35	4.55E-35	4.55E-35	4.5E-35	4.55E-35	4.5E-35	4.55E-35
1.95	1.4E-34	1.4E-34	1.4E-34	1.4E-34	1.4E-34	1.4E-34	1.4E-34	1.4E-34	1.4E-34
2	5.22E-36	5.22E-36	5.2E-36	5.22E-36	5.22E-36	5.2E-36	5.22E-36	5.2E-36	5.22E-36

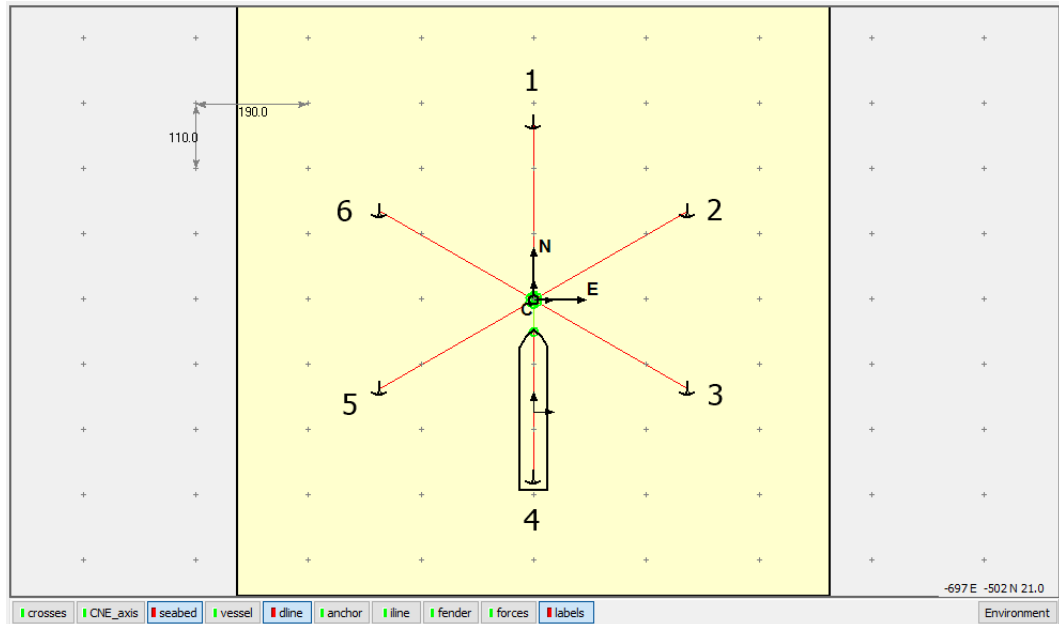
pitch

ω	Kedalaman								
	21	23	25	27	30	33	37	42	50
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.2	4.6E-230	4.2E-230	4E-230	3.6E-230	3.3E-230	3E-230	2.7E-230	2E-230	2E-230
0.25	1.79E-92	1.64E-92	1.5E-92	1.41E-92	1.27E-92	1.2E-92	1.05E-92	9.3E-93	7.94E-93
0.3	5.11E-43	4.68E-43	4.3E-43	4.02E-43	3.65E-43	3.3E-43	3.01E-43	2.7E-43	2.32E-43
0.35	1.21E-21	1.11E-21	1E-21	9.54E-22	8.67E-22	8E-22	7.22E-22	6.5E-22	5.63E-22
0.4	1.14E-10	1.05E-10	9.7E-11	9.06E-11	8.27E-11	7.6E-11	6.94E-11	6.3E-11	5.51E-11
0.45	2.29E-05	2.11E-05	2E-05	1.83E-05	1.68E-05	1.6E-05	1.42E-05	1.3E-05	1.16E-05
0.5	0.001936	0.001786	0.00166	0.001559	0.001433	0.00133	0.001228	0.00113	0.001021
0.55	0.032163	0.029712	0.02771	0.026057	0.024056	0.02249	0.020869	0.01938	0.017801
0.6	0.153085	0.141594	0.13232	0.124728	0.115676	0.10869	0.101653	0.09538	0.089031
0.65	0.329731	0.305177	0.28564	0.269856	0.251379	0.23745	0.223803	0.21214	0.201082
0.7	0.421835	0.390195	0.36546	0.34584	0.323391	0.30696	0.291456	0.27887	0.267883
0.75	0.370457	0.341639	0.31961	0.302538	0.283559	0.27018	0.258118	0.24893	0.241624
0.8	0.235226	0.215147	0.20024	0.189007	0.176966	0.16886	0.161934	0.15703	0.153513
0.85	0.102009	0.091261	0.08358	0.078013	0.07231	0.06867	0.065761	0.06386	0.062634
0.9	0.020712	0.017007	0.01454	0.01287	0.011274	0.01033	0.009641	0.00923	0.008993
0.95	0.000448	0.000986	0.00149	0.001903	0.002352	0.00264	0.002853	0.00298	0.003042
1	1.02E-31	1.02E-31	1E-31	1.02E-31	1.02E-31	1E-31	1.02E-31	1E-31	1.02E-31
1.05	6.06E-32	6.06E-32	6.1E-32	6.06E-32	6.06E-32	6.1E-32	6.06E-32	6.1E-32	6.06E-32
1.1	3.47E-33	3.47E-33	3.5E-33	3.47E-33	3.47E-33	3.5E-33	3.47E-33	3.5E-33	3.47E-33
1.15	7.8E-33	7.8E-33	7.8E-33	7.8E-33	7.8E-33	7.8E-33	7.8E-33	7.8E-33	7.8E-33
1.2	4.57E-32	4.57E-32	4.6E-32	4.57E-32	4.57E-32	4.6E-32	4.57E-32	4.6E-32	4.57E-32
1.25	3.11E-32	3.11E-32	3.1E-32	3.11E-32	3.11E-32	3.1E-32	3.11E-32	3.1E-32	3.11E-32
1.3	8.51E-33	8.51E-33	8.5E-33	8.51E-33	8.51E-33	8.5E-33	8.51E-33	8.5E-33	8.51E-33
1.35	1.37E-32	1.37E-32	1.4E-32	1.37E-32	1.37E-32	1.4E-32	1.37E-32	1.4E-32	1.37E-32
1.4	4.97E-33	4.97E-33	5E-33	4.97E-33	4.97E-33	5E-33	4.97E-33	5E-33	4.97E-33
1.45	1.28E-33	1.28E-33	1.3E-33	1.28E-33	1.28E-33	1.3E-33	1.28E-33	1.3E-33	1.28E-33
1.5	3.95E-33	3.95E-33	4E-33	3.95E-33	3.95E-33	4E-33	3.95E-33	4E-33	3.95E-33
1.55	2.09E-33	2.09E-33	2.1E-33	2.09E-33	2.09E-33	2.1E-33	2.09E-33	2.1E-33	2.09E-33
1.6	5.79E-34	5.79E-34	5.8E-34	5.79E-34	5.79E-34	5.8E-34	5.79E-34	5.8E-34	5.79E-34
1.65	4.51E-34	4.51E-34	4.5E-34	4.51E-34	4.51E-34	4.5E-34	4.51E-34	4.5E-34	4.51E-34
1.7	1.97E-34	1.97E-34	2E-34	1.97E-34	1.97E-34	2E-34	1.97E-34	2E-34	1.97E-34
1.75	2.04E-33	2.04E-33	2E-33	2.04E-33	2.04E-33	2E-33	2.04E-33	2E-33	2.04E-33
1.8	1.39E-34	1.39E-34	1.4E-34	1.39E-34	1.39E-34	1.4E-34	1.39E-34	1.4E-34	1.39E-34
1.85	8.84E-34	8.84E-34	8.8E-34	8.84E-34	8.84E-34	8.8E-34	8.84E-34	8.8E-34	8.84E-34
1.9	4.55E-35	4.55E-35	4.5E-35	4.55E-35	4.55E-35	4.5E-35	4.55E-35	4.5E-35	4.55E-35
1.95	1.4E-34	1.4E-34	1.4E-34	1.4E-34	1.4E-34	1.4E-34	1.4E-34	1.4E-34	1.4E-34
2	5.22E-36	5.22E-36	5.2E-36	5.22E-36	5.22E-36	5.2E-36	5.22E-36	5.2E-36	5.22E-36

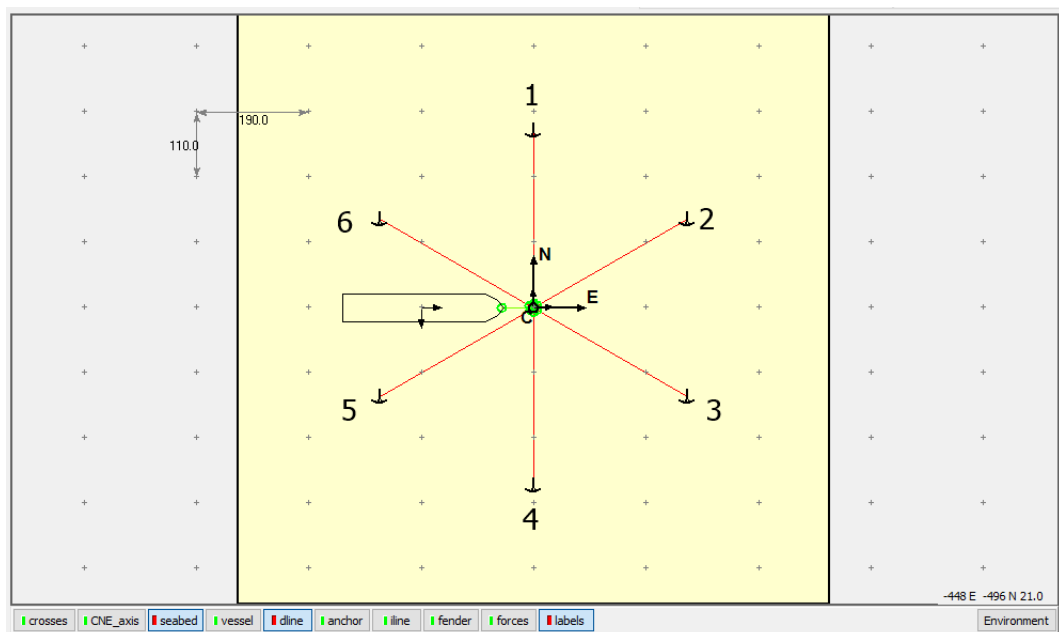
yaw

ω	Kedalaman								
	21	23	25	27	30	33	37	42	50
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.2	2E-257	2E-257	2E-257	2E-257	2E-257	2E-257	1E-257	1E-257	1E-257
0.25	3E-120	3E-120	2E-120	2E-120	2E-120	2E-120	2E-120	1E-120	1E-120
0.3	2.6E-71	2.4E-71	2.2E-71	2.0E-71	1.9E-71	1.7E-71	1.5E-71	1.4E-71	1.2E-71
0.35	1.7E-50	1.6E-50	1.4E-50	1.3E-50	1.2E-50	1.1E-50	1.0E-50	9.3E-51	8.1E-51
0.4	2.6E-40	2.4E-40	2.2E-40	2.1E-40	1.9E-40	1.7E-40	1.6E-40	1.4E-40	1.3E-40
0.45	2.1E-37	2.0E-37	1.9E-37	1.9E-37	1.8E-37	1.7E-37	1.6E-37	1.5E-37	1.4E-37
0.5	3.4E-33	3.1E-33	2.9E-33	2.8E-33	2.6E-33	2.4E-33	2.3E-33	2.1E-33	1.9E-33
0.55	1.7E-31	1.6E-31	1.5E-31	1.4E-31	1.4E-31	1.3E-31	1.2E-31	1.1E-31	1.0E-31
0.6	1.6E-30	1.5E-30	1.4E-30	1.3E-30	1.3E-30	1.2E-30	1.1E-30	1.1E-30	1.0E-30
0.65	5.4E-30	5.1E-30	4.9E-30	4.7E-30	4.4E-30	4.3E-30	4.1E-30	3.9E-30	3.8E-30
0.7	1.0E-29	1.0E-29	9.5E-30	9.2E-30	8.8E-30	8.5E-30	8.2E-30	8.0E-30	7.7E-30
0.75	1.4E-29	1.3E-29	1.3E-29	1.2E-29	1.2E-29	1.2E-29	1.1E-29	1.1E-29	1.1E-29
0.8	1.4E-29	1.4E-29	1.3E-29	1.3E-29	1.3E-29	1.2E-29	1.2E-29	1.2E-29	1.2E-29
0.85	1.2E-29	1.2E-29	1.1E-29	1.1E-29	1.1E-29	1.1E-29	1.1E-29	1.1E-29	1.1E-29
0.9	8.8E-30	8.6E-30	8.4E-30	8.3E-30	8.2E-30	8.1E-30	8.0E-30	8.0E-30	8.0E-30
0.95	5.5E-30	5.4E-30	5.3E-30	5.2E-30	5.2E-30	5.2E-30	5.1E-30	5.1E-30	5.1E-30
1	2.9E-30	2.8E-30	2.8E-30	2.7E-30	2.7E-30	2.7E-30	2.7E-30	2.7E-30	2.7E-30
1.05	1.1E-30	1.1E-30	1.1E-30	1.1E-30	1.0E-30	1.0E-30	1.0E-30	1.0E-30	1.0E-30
1.1	2.0E-31	1.9E-31	1.9E-31	1.9E-31	1.9E-31	1.9E-31	1.9E-31	1.9E-31	1.9E-31
1.15	8.1E-33	8.5E-33	8.8E-33	8.9E-33	9.0E-33	9.1E-33	9.1E-33	9.1E-33	9.1E-33
1.2	3.1E-31	3.1E-31	3.1E-31	3.1E-31	3.1E-31	3.1E-31	3.1E-31	3.1E-31	3.1E-31
1.25	9.0E-31	9.0E-31	9.0E-31	9.0E-31	9.0E-31	9.0E-31	9.0E-31	9.0E-31	9.0E-31
1.3	1.6E-30	1.6E-30	1.6E-30	1.6E-30	1.6E-30	1.6E-30	1.6E-30	1.6E-30	1.6E-30
1.35	2.3E-30	2.3E-30	2.3E-30	2.3E-30	2.3E-30	2.3E-30	2.3E-30	2.3E-30	2.3E-30
1.4	2.9E-30	2.9E-30	2.9E-30	2.9E-30	2.9E-30	2.9E-30	2.9E-30	2.9E-30	2.9E-30
1.45	3.4E-30	3.4E-30	3.4E-30	3.4E-30	3.4E-30	3.4E-30	3.4E-30	3.4E-30	3.4E-30
1.5	3.7E-30	3.7E-30	3.7E-30	3.7E-30	3.7E-30	3.7E-30	3.7E-30	3.7E-30	3.7E-30
1.55	3.9E-30	3.9E-30	3.9E-30	3.9E-30	3.9E-30	3.9E-30	3.9E-30	3.9E-30	3.9E-30
1.6	3.9E-30	3.9E-30	3.9E-30	3.9E-30	3.9E-30	3.9E-30	3.9E-30	3.9E-30	3.9E-30
1.65	3.8E-30	3.8E-30	3.8E-30	3.8E-30	3.8E-30	3.8E-30	3.8E-30	3.8E-30	3.8E-30
1.7	3.6E-30	3.6E-30	3.6E-30	3.6E-30	3.6E-30	3.6E-30	3.6E-30	3.6E-30	3.6E-30
1.75	3.4E-30	3.4E-30	3.4E-30	3.4E-30	3.4E-30	3.4E-30	3.4E-30	3.4E-30	3.4E-30
1.8	3.1E-30	3.1E-30	3.1E-30	3.1E-30	3.1E-30	3.1E-30	3.1E-30	3.1E-30	3.1E-30
1.85	2.8E-30	2.8E-30	2.8E-30	2.8E-30	2.8E-30	2.8E-30	2.8E-30	2.8E-30	2.8E-30
1.9	2.5E-30	2.5E-30	2.5E-30	2.5E-30	2.5E-30	2.5E-30	2.5E-30	2.5E-30	2.5E-30
1.95	2.2E-30	2.2E-30	2.2E-30	2.2E-30	2.2E-30	2.2E-30	2.2E-30	2.2E-30	2.2E-30
2	1.8E-30	1.8E-30	1.8E-30	1.8E-30	1.8E-30	1.8E-30	1.8E-30	1.8E-30	1.8E-30

Konfigurasi *Inline*



Konfigurasi *Betweenline*



INLINE 21

<i>Description</i>	<i>Mooring Line</i>					
	<i>Mooring 1</i>	<i>Mooring 2</i>	<i>Mooring 3</i>	<i>Mooring 4</i>	<i>Mooring 5</i>	<i>Mooring 6</i>
<i>MEAN (m)</i>	541.19	474.09	438.15	462.72	438.15	474.09
<i>Tension 1/3 highest (KN)</i>	762.45	565.70	526.12	657.82	526.16	474.27
<i>Tension 1/10 highest (KN)</i>	912.88	618.88	581.28	801.53	581.28	447.23
<i>Tension 1/100 highest (KN)</i>	1175.60	705.22	669.51	1056.40	669.51	504.88
<i>MAX (m)</i>	1719.83	873.38	847.73	1797.64	847.73	264.77
<i>MIN (m)</i>	171.20	264.77	228.98	138.21	228.98	873.38

INLINE 23

<i>Description</i>	<i>Mooring Line</i>					
	<i>Mooring 1</i>	<i>Mooring 2</i>	<i>Mooring 3</i>	<i>Mooring 4</i>	<i>Mooring 5</i>	<i>Mooring 6</i>
<i>MEAN (m)</i>	552.05	475.97	442.83	478.81	442.83	475.97
<i>Tension 1/3 highest (KN)</i>	791.99	571.51	535.48	695.16	535.48	571.51
<i>Tension 1/10 highest (KN)</i>	960.47	626.83	592.61	859.69	592.63	626.83
<i>Tension 1/100 highest (KN)</i>	1268.80	718.29	687.49	1166.20	687.50	718.28
<i>MAX (m)</i>	1841.95	919.19	873.90	1712.78	873.90	919.17
<i>MIN (m)</i>	161.32	253.78	224.43	134.92	224.43	253.77

INLINE 25

<i>Description</i>	<i>Mooring Line</i>					
	<i>Mooring 1</i>	<i>Mooring 2</i>	<i>Mooring 3</i>	<i>Mooring 4</i>	<i>Mooring 5</i>	<i>Mooring 6</i>
<i>MEAN (m)</i>	450.72	477.10	446.45	489.16	446.45	477.10
<i>Tension 1/3 highest (KN)</i>	813.69	577.02	544.09	720.39	544.09	577.02
<i>Tension 1/10 highest (KN)</i>	995.54	635.80	604.79	895.03	604.79	635.80
<i>Tension 1/100 highest (KN)</i>	1320.00	733.90	705.25	1219.80	705.29	733.90
<i>MAX (m)</i>	1560.51	871.33	889.28	1755.23	889.28	871.33
<i>MIN (m)</i>	148.19	257.84	240.48	149.89	240.48	257.84

INLINE 27

<i>Description</i>	<i>Mooring Line</i>					
	<i>Mooring 1</i>	<i>Mooring 2</i>	<i>Mooring 3</i>	<i>Mooring 4</i>	<i>Mooring 5</i>	<i>Mooring 6</i>
<i>MEAN (m)</i>	553.27	467.51	447.41	487.99	447.41	476.51
<i>Tension 1/3 highest (KN)</i>	819.85	538.07	551.67	731.58	551.67	583.07
<i>Tension 1/10 highest (KN)</i>	1016.60	647.66	618.69	923.70	618.69	647.66
<i>Tension 1/100 highest (KN)</i>	1381.00	757.59	729.61	1279.20	729.61	757.79
<i>MAX (m)</i>	2033.80	856.46	902.44	1794.53	902.44	956.46
<i>MIN (m)</i>	157.50	251.00	234.23	145.28	234.20	251.00

INLINE 30

<i>Description</i>	<i>Mooring Line</i>					
	<i>Mooring 1</i>	<i>Mooring 2</i>	<i>Mooring 3</i>	<i>Mooring 4</i>	<i>Mooring 5</i>	<i>Mooring 6</i>
<i>MEAN (m)</i>	567.14	479.32	452.82	505.39	452.82	479.32
<i>Tension 1/3 highest (KN)</i>	856.93	529.94	563.31	773.34	563.21	592.94
<i>Tension 1/10 highest (KN)</i>	1089.20	663.00	635.48	992.85	635.48	663.00
<i>Tension 1/100 highest (KN)</i>	1520.00	784.00	759.64	1428.00	759.64	784.80
<i>MAX (m)</i>	2283.89	987.07	957.38	2208.43	957.38	987.07
<i>MIN (m)</i>	147.60	236.50	273.78	14789.00	237.78	236.60

INLINE 33

<i>Description</i>	<i>Mooring Line</i>					
	<i>Mooring 1</i>	<i>Mooring 2</i>	<i>Mooring 3</i>	<i>Mooring 4</i>	<i>Mooring 5</i>	<i>Mooring 6</i>
<i>MEAN (m)</i>	568.91	480.19	455.32	510.60	455.32	480.19
<i>Tension 1/3 highest (KN)</i>	885.86	601.98	573.63	799.60	573.63	601.98
<i>Tension 1/10 highest (KN)</i>	1134.86	677.00	649.80	1037.40	649.80	679.35
<i>Tension 1/100 highest (KN)</i>	1603.00	801.71	775.31	1495.20	775.31	801.71
<i>MAX (m)</i>	2536.75	1014.41	1003.37	2369.63	1003.30	1014.41
<i>MIN (m)</i>	152.54	243.69	240.79	152.34	240.79	243.69

INLINE 37

Description	Mooring Line					
	Mooring 1	Mooring 2	Mooring 3	Mooring 4	Mooring 5	Mooring 6
MEAN (m)	586.61	484.40	461.45	530.46	461.45	484.40
Tension 1/3 highest (KN)	947.15	619.05	519.14	856.83	591.14	619.05
Tension 1/10 highest (KN)	1232.90	700.70	671.83	1124.40	671.83	700.70
Tension 1/100 highest (KN)	1788.20	827.17	795.79	1634.00	795.79	827.17
MAX (m)	2712.01	1004.00	1004.16	2649.84	1004.10	1004.03
MIN (m)	151.95	239.96	242.36	155.20	242.60	239.96

INLINE 42

Description	Mooring Line					
	Mooring 1	Mooring 2	Mooring 3	Mooring 4	Mooring 5	Mooring 6
MEAN (m)	617.26	489.61	468.76	563.19	468.76	489.61
Tension 1/3 highest (KN)	1043.80	636.83	611.68	954.30	611.68	635.69
Tension 1/10 highest (KN)	1411.00	726.38	701.19	1299.50	701.19	726.38
Tension 1/100 highest (KN)	2229.20	862.95	836.87	2054.60	836.87	862.95
MAX (m)	3612.01	1091.50	1046.21	3269.02	1046.21	1091.50
MIN (m)	156.40	246.45	239.00	153.16	239.00	246.45

INLINE 50

Description	Mooring Line					
	Mooring 1	Mooring 2	Mooring 3	Mooring 4	Mooring 5	Mooring 6
MEAN (m)	664.37	543.99	517.15	580.46	519.71	544.54
Tension 1/3 highest (KN)	1084.50	776.55	732.98	975.35	739.65	775.72
Tension 1/10 highest (KN)	1500.00	947.79	916.11	1344.20	932.52	965.71
Tension 1/100 highest (KN)	2483.00	1400.00	1388.60	2243.90	1435.30	1388.30
MAX (m)	4470.45	2942.00	2636.72	3895.23	3165.08	2572.04
MIN (m)	171.83	206.12	211.97	169.05	212.35	204.84

BETWEENLINE 21

<i>Description</i>	<i>Mooring Line</i>					
	<i>Mooring 1</i>	<i>Mooring 2</i>	<i>Mooring 3</i>	<i>Mooring 4</i>	<i>Mooring 5</i>	<i>Mooring 6</i>
<i>MEAN (m)</i>	487.83	540.12	539.33	478.77	453.43	459.82
<i>Tension 1/3 highest (KN)</i>	540.88	708.58	702.25	540.22	622.38	629.97
<i>Tension 1/10 highest (KN)</i>	593.39	853.13	847.73	592.82	747.21	750.38
<i>Tension 1/100 highest (KN)</i>	696.33	1080.50	1057.80	693.37	967.17	961.24
<i>MAX (m)</i>	990.35	1739.28	1426.31	922.29	152.50	161.49
<i>MIN (m)</i>	357.55	198.60	201.78	344.82	1344.89	1324.79

BETWEENLINE 23

<i>Description</i>	<i>Mooring Line</i>					
	<i>Mooring 1</i>	<i>Mooring 2</i>	<i>Mooring 3</i>	<i>Mooring 4</i>	<i>Mooring 5</i>	<i>Mooring 6</i>
<i>MEAN (m)</i>	450.81	552.77	546.34	451.06	453.53	450.72
<i>Tension 1/3 highest (KN)</i>	471.91	719.22	715.35	471.68	622.38	618.76
<i>Tension 1/10 highest (KN)</i>	489.28	854.21	850.84	488.76	744.77	744.88
<i>Tension 1/100 highest (KN)</i>	528.81	1096.20	1100.00	524.47	967.17	962.97
<i>MAX (m)</i>	681.47	1832.96	1824.89	610.33	1344.89	1560.51
<i>MIN (m)</i>	352.89	179.48	180.82	357.50	152.20	148.19

BETWEENLINE 25

<i>Description</i>	<i>Mooring Line</i>					
	<i>Mooring 1</i>	<i>Mooring 2</i>	<i>Mooring 3</i>	<i>Mooring 4</i>	<i>Mooring 5</i>	<i>Mooring 6</i>
<i>MEAN (m)</i>	466.80	535.96	531.79	466.99	464.96	461.34
<i>Tension 1/3 highest (KN)</i>	513.95	742.62	736.03	514.40	646.16	640.77
<i>Tension 1/10 highest (KN)</i>	568.73	886.41	874.64	569.09	771.71	765.49
<i>Tension 1/100 highest (KN)</i>	702.09	1150.00	1120.00	707.46	998.97	991.01
<i>MAX (m)</i>	1005.31	1555.38	1538.04	1029.35	1395.13	1395.85
<i>MIN (m)</i>	332.74	179.25	180.63	349.96	165.41	164.96

BETWEENLINE 27

<i>Description</i>	<i>Mooring Line</i>					
	<i>Mooring 1</i>	<i>Mooring 2</i>	<i>Mooring 3</i>	<i>Mooring 4</i>	<i>Mooring 5</i>	<i>Mooring 6</i>
<i>MEAN (m)</i>	484.70	546.28	542.31	485.73	478.52	474.85
<i>Tension 1/3 highest (KN)</i>	555.75	764.88	756.77	556.72	672.19	668.18
<i>Tension 1/10 highest (KN)</i>	620.54	922.96	912.02	622.57	813.67	809.16
<i>Tension 1/100 highest (KN)</i>	748.51	1208.00	1194.40	756.80	1073.50	1065.52
<i>MAX (m)</i>	990.74	1804.56	1727.19	967.79	1580.38	1586.79
<i>MIN (m)</i>	340.26	176.16	173.92	359.60	151.84	159.87

BETWEENLINE 30

<i>Description</i>	<i>Mooring Line</i>					
	<i>Mooring 1</i>	<i>Mooring 2</i>	<i>Mooring 3</i>	<i>Mooring 4</i>	<i>Mooring 5</i>	<i>Mooring 6</i>
<i>MEAN (m)</i>	501.32	566.35	558.72	497.62	500.34	495.34
<i>Tension 1/3 highest (KN)</i>	618.34	780.27	788.52	604.28	727.00	718.28
<i>Tension 1/10 highest (KN)</i>	781.00	1009.90	996.14	745.41	903.34	888.57
<i>Tension 1/100 highest (KN)</i>	1285.20	1385.50	1356.40	1159.00	1239.00	1229.10
<i>MAX (m)</i>	2360.55	2185.98	2038.19	2121.56	1916.52	1909.81
<i>MIN (m)</i>	336.27	179.49	180.39	346.29	168.13	167.49

BETWEENLINE 33

<i>Description</i>	<i>Mooring Line</i>					
	<i>Mooring 1</i>	<i>Mooring 2</i>	<i>Mooring 3</i>	<i>Mooring 4</i>	<i>Mooring 5</i>	<i>Mooring 6</i>
<i>MEAN (m)</i>	459.85	540.85	540.78	460.64	480.01	479.06
<i>Tension 1/3 highest (KN)</i>	501.64	801.65	802.03	502.83	710.26	708.68
<i>Tension 1/10 highest (KN)</i>	531.32	987.69	986.56	533.37	877.29	875.46
<i>Tension 1/100 highest (KN)</i>	579.61	1290.50	1302.30	579.97	1166.30	1157.50
<i>MAX (m)</i>	654.35	2134.09	2524.84	666.97	1771.33	1763.05
<i>MIN (m)</i>	351.24	178.16	183.15	351.33	153.91	143.90

BETWEENLINE 37

<i>Description</i>	<i>Mooring Line</i>					
	<i>Mooring 1</i>	<i>Mooring 2</i>	<i>Mooring 3</i>	<i>Mooring 4</i>	<i>Mooring 5</i>	<i>Mooring 6</i>
<i>MEAN (m)</i>	511.39	583.31	579.78	511.39	523.02	519.98
<i>Tension 1/3 highest (KN)</i>	631.08	868.36	863.30	629.79	776.50	773.84
<i>Tension 1/10 highest (KN)</i>	758.13	1084.80	1078.80	751.33	972.54	972.29
<i>Tension 1/100 highest (KN)</i>	1159.50	1468.00	1494.80	111.30	1321.30	1354.00
<i>MAX (m)</i>	2085.29	2348.60	2310.40	1867.12	1882.71	2195.45
<i>MIN (m)</i>	322.76	184.18	168.84	328.02	160.17	161.81

BETWEENLINE 42

<i>Description</i>	<i>Mooring Line</i>					
	<i>Mooring 1</i>	<i>Mooring 2</i>	<i>Mooring 3</i>	<i>Mooring 4</i>	<i>Mooring 5</i>	<i>Mooring 6</i>
<i>MEAN (m)</i>	521.34	596.22	598.78	520.84	536.59	539.60
<i>Tension 1/3 highest (KN)</i>	669.34	905.53	909.10	668.98	807.91	814.39
<i>Tension 1/10 highest (KN)</i>	783.99	1156.30	1156.60	780.80	1026.80	1034.20
<i>Tension 1/100 highest (KN)</i>	1063.80	1670.30	1650.40	1073.20	1486.20	1488.40
<i>MAX (m)</i>	1801.92	2679.82	3026.76	2129.91	2532.84	2871.44
<i>MIN (m)</i>	278.96	171.17	181.78	288.11	166.56	173.32

BETWEENLINE 50

<i>Description</i>	<i>Mooring Line</i>					
	<i>Mooring 1</i>	<i>Mooring 2</i>	<i>Mooring 3</i>	<i>Mooring 4</i>	<i>Mooring 5</i>	<i>Mooring 6</i>
<i>MEAN (m)</i>	842.59	871.56	875.14	841.27	804.12	808.86
<i>Tension 1/3 highest (KN)</i>	1118.70	1177.90	1189.10	1113.80	1070.80	1088.80
<i>Tension 1/10 highest (KN)</i>	1414.10	1421.70	1449.20	1397.50	1271.70	1313.50
<i>Tension 1/100 highest (KN)</i>	2365.30	2071.00	2162.00	2260.40	1773.60	1922.10
<i>MAX (m)</i>	4733.36	4476.58	4322.85	4346.82	3000.93	4017.88
<i>MIN (m)</i>	453.05	347.60	351.48	443.99	370.93	336.33

<i>Description</i>	<i>Kedalaman</i>								
	21	23	25	27	30	33	37	42	50
<i>MEAN (m)</i>	116.99	109.69	102.81	97.69	92.40	87.31	83.24	80.44	77.40
<i>Tension 1/3 highest (KN)</i>	225.53	222.79	190.93	184.71	176.88	161.12	151.01	157.41	159.72
<i>Tension 1/10 highest (KN)</i>	427.64	443.80	359.59	357.55	352.05	316.93	297.34	331.23	354.18
<i>Tension 1/100 highest (KN)</i>	1434.00	1597.50	1371.10	1493.80	1739.00	1679.80	1597.90	1917.40	2255.70
<i>MAX (m)</i>	3629.87	3614.75	3810.00	3913.43	5297.00	5670.43	5947.19	6958.37	7476.00
<i>MIN (m)</i>	41.51	41.13	40.31	39.05	37.46	38.79	36.79	36.45	35.23

Offset Inline

[illegible]

Offside Betweenline

[illegible]

TYPE 1

SYMMETRY 1

ZFSURFACE 2.95

NODE 1 0.000 0.000 0.000

NODE 2 0.000 0.000 1.000

NODE 3 0.000 0.000 2.950

NODE 4 7.500 0.000 0.000

NODE 5 3.880 3.880 0.000

NODE 6 0.000 6.500 0.000

RULE 0 0.00 0.00

RULE 10 -0.95 0.00

RULE 99 -0.95 0.95

#PATCH 1 NODE 1 6 5 4 AB_NB 20 AB_RULE 0 BC_NB 20 BC_RULE 0

#CIRDEG CTR 1 RAD 5.500 ANG 0.0 45.000 NODE 4 5 C_NB 0 C_RULE 0 H_NB 0 H_RULE 10 INVERSE

#CIRDEG CTR 1 RAD 5.500 ANG 45.0 90.000 NODE 5 6 C_NB 0 C_RULE 0 H_NB 0 H_RULE 10 INVERSE

CIRCYL CTR 1 1 RAD 0 6.500 ANG 0.0 180.0 C_NB 16 C_RULE 0 H_NB 16 H_RULE 99

CIRCYL CTR 1 2 RAD 6.500 7.500 ANG 0.0 180.0 C_NB 16 C_RULE 0 H_NB 3 H_RULE 99

CIRCYL CTR 2 2 RAD 5.500 7.500 ANG 0.0 180.0 C_NB 16 C_RULE 0 H_NB 3 H_RULE 99 INVERSE

CIRCYL CTR 2 3 RAD 5.500 5.500 ANG 0.0 180.0 C_NB 16 C_RULE 0 H_NB 20 H_RULE 99

ABOVE

1.05

ENDFILE

FORMAT 4			2.007	13	0	7.975	17	0
			2.5	13.241	0	9	18.503	0
268 23.5 70			3	13.521	0	9.91	20	0
-9.3	16		4	14.208	0	10	20.156	0
0	12.611	0	5	15.061	0	10.735	21.458	0
0	12.611	0	5.905	16	0			
0.5	12.786	0	6	16.11	0	-5	18	
1	12.984	0	6.7	17	0	0	11.468	0
1.037	13	0	8.632	20	0	0	11.468	0
1.5	13.21	0	9	20.633	0	0.5	11.582	0
2	13.467	0	9.47	21.458	0	1	11.709	0
2.5	13.761	0				1.5	11.852	0
3	14.099	0	-7	18		2	12.012	0
4	14.921	0	0	12.021	0	2.5	12.192	0
5	15.916	0	0	12.021	0	3	12.394	0
5.075	16	0	0.5	12.153	0	4	12.877	0
5.878	17	0	1	12.301	0	4.221	13	0
6	17.168	0	1.5	12.468	0	5	13.483	0
7.796	20	0	2	12.658	0	6	14.209	0
8.636	21.458	0	2.5	12.873	0	7.825	16	0
			2.766	13	0	8.611	17	0
-9	16		3	13.119	0	9	17.545	0
0	12.536	0	4	13.721	0	10	19.089	0
0	12.536	0	5	14.48	0	10.54	20	0
0.5	12.704	0	6	15.4	0	11.357	21.458	0
1	12.894	0	6.546	16	0			
1.255	13	0	7.337	17	0	-4	18	
1.5	13.109	0	9	19.539	0	0	11.176	0
2	13.355	0	9.273	20	0	0	11.176	0
2.5	13.636	0	10	21.269	0	0.5	11.286	0
3	13.959	0	10.106	21.458	0	1	11.409	0
4	14.748	0				1.5	11.545	0
5	15.707	0	-6	18		2	11.698	0
5.266	16	0	0	11.749	0	2.5	11.868	0
6	16.91	0	0	11.749	0	3	12.057	0
6.067	17	0	0.5	11.87	0	4	12.503	0
7.989	20	0	1	12.006	0	4.911	13	0
8.829	21.458	0	1.5	12.159	0	5	13.053	0
			2	12.331	0	6	13.709	0
-8	17		2.5	12.525	0	8.458	16	0
0	12.283	0	3	12.746	0	9	16.678	0
0	12.283	0	3.507	13	0	9.241	17	0
0.5	12.43	0	4	13.281	0	10	18.095	0
1	12.596	0	5	13.957	0	11.163	20	0
1.5	12.783	0	6	14.769	0	11.968	21.458	0
2	12.997	0	7.187	16	0			

-3	20		0	10.275	0	0.5	9.774	0
0	10.877	0	0.5	10.38	0	1	9.891	0
0	10.877	0	1	10.497	0	1.5	10.022	0
0.5	10.985	0	1.5	10.627	0	2	10.165	0
0.564	11	0	2	10.771	0	2.5	10.322	0
1	11.105	0	2.5	10.928	0	3	10.491	0
1.5	11.239	0	2.715	11	0	4	10.865	0
2	11.387	0	3	11.1	0	4.331	11	0
2.5	11.55	0	4	11.49	0	5	11.289	0
3	11.731	0	5	11.944	0	6	11.765	0
4	12.152	0	6	12.468	0	8.126	13	0
5	12.66	0	6.897	13	0	9	13.649	0
5.585	13	0	9	14.638	0	10	14.54	0
6	13.26	0	10	15.696	0	11.332	16	0
9	15.905	0	10.257	16	0	12	16.851	0
9.08	16	0	11.035	17	0	12.111	17	0
9.861	17	0	12	18.415	0	14	19.92	0
10	17.192	0	12.947	20	0	14.045	20	0
11.774	20	0	13.727	21.458	0	14.832	21.458	0
12	20.404	0						
12.568	21.458	0	0	21		2	21	
			0	9.974	0	0	9.357	0
-2	20		0	9.974	0	0	9.357	0
0	10.575	0	0.5	10.078	0	0.5	9.465	0
0	10.575	0	1	10.194	0	1	9.587	0
0.5	10.682	0	1.5	10.324	0	1.5	9.723	0
1	10.801	0	2	10.466	0	2	9.872	0
1.5	10.932	0	2.5	10.622	0	2.5	10.032	0
1.739	11	0	3	10.792	0	3	10.202	0
2	11.078	0	3.566	11	0	4	10.574	0
2.5	11.238	0	4	11.172	0	5	10.984	0
3	11.413	0	5	11.61	0	5.037	11	0
4	11.816	0	6	12.108	0	6	11.438	0
5	12.293	0	7.523	13	0	8.714	13	0
6	12.85	0	9	14.119	0	9	13.209	0
6.248	13	0	10	15.085	0	10	14.038	0
9	15.227	0	10.806	16	0	11.842	16	0
9.682	16	0	11.584	17	0	12	16.195	0
10	16.394	0	12	17.583	0	12.62	17	0
10.46	17	0	13.505	20	0	14	19.044	0
12	19.358	0	14	20.906	0	14.569	20	0
12.369	20	0	14.287	21.458	0	15.362	21.458	0
13.154	21.458	0						
			1	21		3	28	
-1	20		0	9.671	0	0	3.376	0
0	10.275	0	0	9.671	0	0	3.376	0

0.5	3.568	0	4	10.018	0	14.133	17	0
0.5	4.384	0	5	10.432	0	16	19.877	0
0	4.559	0	6	10.848	0	16.071	20	0
0	4.559	0	6.354	11	0	16.861	21.458	0
0	8.994	0	9	12.365	0			
0	8.994	0	9.914	13	0	7	34	
0.028	9	0	10	13.066	0	1.501	7.005	0
0.5	9.113	0	12	14.973	0	0	0.265	0
1	9.253	0	12.866	16	0	0	0.265	0
1.5	9.407	0	13.632	17	0	0.163	0.5	0
2	9.572	0	14	17.513	0	0.447	1	0
2.5	9.746	0	15.582	20	0	0.5	1.093	0
3	9.926	0	16	20.747	0	0.731	1.5	0
4	10.303	0	16.375	21.458	0	1	1.986	0
5	10.702	0				1.007	2	0
5.704	11	0	5	34		1.283	2.61	0
6	11.13	0	0	1.182	0	1.408	3	0
9	12.776	0	0	1.182	0	1.5	3.316	0
9.311	13	0	0.148	1.5	0	1.5	4.142	0
10	13.546	0	0.373	2	0	1.299	5	0
12	15.577	0	0.5	2.243	0	1.5	7	0
12.352	16	0	0.958	3	0	1.647	7.254	0
13.126	17	0	1	3.081	0	2	7.667	0
14	18.251	0	1	4.393	0	2.5	8.094	0
15.081	20	0	0.689	5	0	3	8.444	0
15.877	21.458	0	0.5	5.488	0	3.942	9	0
			0.382	5.911	0	4	9.031	0
4	32		0.357	6.959	0	5	9.542	0
0	1.99	0	0.371	7	0	6	10.017	0
0	1.99	0	0.5	7.281	0	8.11	11	0
0.013	2	0	1	7.905	0	9	11.447	0
0.5	2.877	0	1.5	8.324	0	10	12.009	0
0.579	3	0	2	8.665	0	11.449	13	0
0.5	4.754	0	2.5	8.961	0	12	13.456	0
0.331	5	0	2.571	9	0	14	15.573	0
0	5.553	0	3	9.228	0	14.342	16	0
0	5.553	0	4	9.711	0	15.089	17	0
0	8.163	0	5	10.154	0	16	18.344	0
0	8.163	0	6	10.581	0	17.002	20	0
0.5	8.368	0	6.963	11	0	17.791	21.458	0
1	8.627	0	9	12.026	0			
1.5	8.886	0	10	12.663	0	9	32	
1.728	9	0	10.458	13	0	0	0	0
2	9.132	0	12	14.405	0	0	0	0
2.5	9.367	0	13.374	16	0	0.007	0	0
3	9.591	0	14	16.818	0	0.5	0.426	0

0.567	0.5	0	4	7.32	0	16	14.601	0
0.941	1	0	4.576	7.795	0	17.132	16	0
1	1.093	0	5	8.076	0	17.845	17	0
1.235	1.5	0	6	8.677	0	19	18.812	0
1.499	2	0	6.575	9	0	19.684	20	0
1.5	2.002	0	9	10.31	0	20.466	21.458	0
1.85	3	0	10	10.86	0			
1.953	5	0	10.248	11	0	18	33	
2	5.697	0	12	12.08	0	0	0	0
2.5	6.879	0	13.232	13	0	0.5	0	0
2.59	7	0	14	13.678	0	0	0	0
3	7.469	0	16	15.928	0	0.734	0	0
3.061	7.531	0	16.056	16	0	1	0.042	0
4	8.242	0	16.788	17	0	1.5	0.136	0
5	8.844	0	18.666	20	0	2	0.256	0
5.282	9	0	19	20.605	0	2.5	0.416	0
6	9.381	0	19.452	21.458	0	2.71	0.5	0
9	10.892	0				3	0.636	0
9.208	11	0	14	33		3.614	1	0
10	11.427	0	0	0	0	4	1.327	0
12	12.709	0	0	0	0	4.156	1.5	0
12.378	13	0	0.288	0	0	4.474	2	0
14	14.522	0	0.5	0.065	0	4.837	3	0
15.241	16	0	1	0.24	0	5	3.511	0
15.981	17	0	1.5	0.462	0	5.607	5	0
16	17.027	0	1.571	0.5	0	6	5.62	0
17.874	20	0	2	0.777	0	7.448	7	0
18.662	21.458	0	2.266	1	0	9	8.033	0
			2.5	1.245	0	10	8.639	0
11	33		2.692	1.5	0	10.113	8.706	0
0	0	0	2.968	2	0	10.591	9	0
0	0	0	3	2.075	0	12	9.924	0
0.094	0	0	3.282	3	0	13.47	11	0
0.5	0.202	0	3.793	5	0	14	11.422	0
0.945	0.5	0	4	5.532	0	15.796	13	0
1	0.545	0	5	6.781	0	16	13.197	0
1.436	1	0	5.263	7	0	18.384	16	0
1.5	1.082	0	6	7.547	0	19	16.917	0
1.773	1.5	0	6.965	8.181	0	19.053	17	0
2	1.924	0	8.396	9	0	20.773	20	0
2.036	2	0	9	9.349	0	21.517	21.458	0
2.354	3	0	10	9.938	0			
2.5	3.788	0	11.703	11	0	22	34	
2.644	5	0	12	11.196	0	0	0	0
3	6.159	0	14	12.665	0	0.5	0	0
3.661	7	0	14.395	13	0	1	0	0

0	0	0	6.98	1	0	16	7.165	0
1.455	0	0	7.637	1.5	0	17.608	9	0
1.5	0.004	0	8.055	2	0	18.759	10.486	0
2	0.059	0	8.658	3	0	19	10.802	0
2.5	0.127	0	9	3.512	0	19.149	11	0
3	0.216	0	10	4.713	0	20.542	13	0
3.996	0.5	0	10.274	5	0	22	15.839	0
4	0.501	0	12	6.594	0	22.061	16	0
5	0.971	0	12.487	7	0	22.388	17	0
5.048	1	0	14	8.278	0	22.935	20	0
5.687	1.5	0	14.8	9	0	23	21.306	0
6	1.9	0	15.575	9.759	0	23	21.458	0
6.058	2	0	16	10.201	0			
6.512	3	0	16.743	11	0	50	34	
7.685	5	0	18.478	13	0	0	0	0
9	6.397	0	19	13.645	0	0.5	0	0
9.724	7	0	20.654	16	0	1	0	0
10	7.211	0	21.192	17	0	1.5	0	0
12	8.617	0	22	18.904	0	2	0	0
12.568	9	0	22.371	20	0	2.5	0	0
12.875	9.207	0	22.782	21.458	0	3	0	0
14	10.111	0				4	0	0
15.011	11	0	34	35		5	0	0
16	11.948	0	0	0	0	6	0	0
17.018	13	0	0.5	0	0	9	0	0
19	15.342	0	1	0	0	10	0	0
19.461	16	0	1.5	0	0	11.375	0	0
20.09	17	0	2	0	0	0	0	0
21.638	20	0	2.5	0	0	12	0.064	0
22	20.827	0	3	0	0	14	0.465	0
22.259	21.458	0	4	0	0	14.102	0.5	0
			5	0	0	15.147	1	0
27	34		0	0	0	16	1.486	0
0	0	0	5.385	0	0	16.024	1.5	0
0.5	0	0	6	0.048	0	16.816	2	0
1	0	0	8.494	0.5	0	18.02	3	0
1.5	0	0	9	0.712	0	19	4.037	0
2	0	0	9.568	1	0	19.783	5	0
2.5	0	0	10	1.258	0	21.089	7	0
0	0	0	10.346	1.5	0	22	8.732	0
2.825	0	0	10.938	2	0	22.112	9	0
3	0.014	0	11.88	3	0	22.766	11	0
4	0.112	0	12	3.134	0	23	11.816	0
5	0.266	0	13.884	5	0	23	13	0
5.872	0.5	0	14	5.109	0	23	16	0
6	0.547	0	15.849	7	0	23	17	0

23	20	0	3	0	0	0	0	0
23	21.458	0	4	0	0	20.355	0	0
			5	0	0	22	0.444	0
60	34		6	0	0	22.086	0.5	0
0	0	0	9	0	0	22.624	1	0
0.5	0	0	10	0	0	22.903	1.5	0
1	0	0	12	0	0	22.996	2	0
1.5	0	0	14	0	0	23	2.082	0
2	0	0	16	0	0	23	3	0
2.5	0	0	18.839	0	0	23	5	0
3	0	0	0	0	0	23	7	0
4	0	0	19	0.019	0	23	9	0
5	0	0	20.87	0.5	0	23	11	0
6	0	0	21.71	1	0	23	13	0
9	0	0	22	1.242	0	23	16	0
10	0	0	22.248	1.5	0	23	17	0
12	0	0	22.585	2	0	23	20	0
14	0	0	22.989	3	0	23	21.458	0
14.428	0	0	23	3.05	0			
0	0	0	23	5	0	115	34	
16	0.264	0	23	7	0	0	0	0
16.814	0.5	0	23	9	0	0.5	0	0
17.907	1	0	23	11	0	1	0	0
18.71	1.5	0	23	13	0	1.5	0	0
19	1.71	0	23	16	0	2	0	0
19.37	2	0	23	17	0	2.5	0	0
20.426	3	0	23	20	0	3	0	0
21.923	5	0	23	21.458	0	4	0	0
22	5.133	0				5	0	0
22.832	7	0	100	34		6	0	0
23	7.741	0	0	0	0	9	0	0
23	9	0	0.5	0	0	10	0	0
23	11	0	1	0	0	12	0	0
23	13	0	1.5	0	0	14	0	0
23	16	0	2	0	0	16	0	0
23	17	0	2.5	0	0	19	0	0
23	20	0	3	0	0	0	0	0
23	21.458	0	4	0	0	20.355	0	0
			5	0	0	22	0.444	0
80	34		6	0	0	22.086	0.5	0
0	0	0	9	0	0	22.624	1	0
0.5	0	0	10	0	0	22.903	1.5	0
1	0	0	12	0	0	22.996	2	0
1.5	0	0	14	0	0	23	2.082	0
2	0	0	16	0	0	23	3	0
2.5	0	0	19	0	0	23	5	0

23	7	0	0	0	0	9	0	0
23	9	0	0.5	0	0	10	0	0
23	11	0	1	0	0	12	0	0
23	13	0	1.5	0	0	14	0	0
23	16	0	2	0	0	16	0	0
23	17	0	2.5	0	0	19	0	0
23	20	0	3	0	0	0	0	0
23	21.458	0	4	0	0	20.355	0	0
			5	0	0	22	0.444	0
135	34		6	0	0	22.086	0.5	0
0	0	0	9	0	0	22.624	1	0
0.5	0	0	10	0	0	22.903	1.5	0
1	0	0	12	0	0	22.996	2	0
1.5	0	0	14	0	0	23	2.082	0
2	0	0	16	0	0	23	3	0
2.5	0	0	19	0	0	23	5	0
3	0	0	22	0.444	0	23	7	0
4	0	0	23	17	0	23	9	0
5	0	0	22.086	0.5	0	23	11	0
6	0	0	22.624	1	0	23	13	0
9	0	0	22.903	1.5	0	23	16	0
10	0	0	22.996	2	0	23	17	0
12	0	0	23	3	0	23	20	0
14	0	0	23	5	0	23	21.458	0
16	0	0	23	7	0			
19	0	0	23	9	0	170	34	
0	0	0	23	11	0	0	0	0
20.355	0	0	23	13	0	0.5	0	0
22	0.444	0	23	16	0	1	0	0
22.086	0.5	0	23	20	0	1.5	0	0
22.624	1	0	23	21.458	0	2	0	0
22.903	1.5	0	0	0	0	2.5	0	0
22.996	2	0	20.355	0	0	3	0	0
23	2.082	0	23	2.082	0	4	0	0
23	3	0				5	0	0
23	5	0	160	34		6	0	0
23	7	0	0	0	0	9	0	0
23	9	0	0.5	0	0	10	0	0
23	11	0	1	0	0	12	0	0
23	13	0	1.5	0	0	14	0	0
23	16	0	2	0	0	16	0	0
23	17	0	2.5	0	0	19	0	0
23	20	0	3	0	0	0	0	0
23	21.458	0	4	0	0	20.355	0	0
			5	0	0	22	0.444	0
150	34		6	0	0	22.086	0.5	0

22.624	1	0	23	16	0	2	0	0
22.903	1.5	0	23	17	0	2.5	0	0
22.996	2	0	23	20	0	3	0	0
23	2.082	0	23	21.458	0	4	0	0
23	3	0				5	0	0
23	5	0	190	34		6	0	0
23	7	0	0	0	0	9	0	0
23	9	0	0.5	0	0	10	0	0
23	11	0	1	0	0	12	0	0
23	13	0	1.5	0	0	14	0	0
23	16	0	2	0	0	16	0	0
23	17	0	2.5	0	0	19	0	0
23	20	0	3	0	0	20.23	0	0
23	21.458	0	4	0	0	0	0	0
			5	0	0	21.987	0.5	0
180	34		6	0	0	22	0.509	0
0	0	0	9	0	0	22.537	1	0
0.5	0	0	10	0	0	22.835	1.5	0
1	0	0	12	0	0	22.969	2	0
1.5	0	0	14	0	0	23	2.299	0
2	0	0	16	0	0	23	3	0
2.5	0	0	19	0	0	23	5	0
3	0	0	0	0	0	23	7	0
4	0	0	20.355	0	0	23	9	0
5	0	0	22	0.444	0	23	11	0
6	0	0	22.086	0.5	0	23	13	0
9	0	0	22.624	1	0	23	16	0
10	0	0	22.903	1.5	0	23	17	0
12	0	0	22.996	2	0	23	20	0
14	0	0	23	2.082	0	23	21.458	0
16	0	0	23	3	0			
19	0	0	23	5	0	210	34	
0	0	0	23	7	0	0	0	0
20.355	0	0	23	9	0	0.5	0	0
22	0.444	0	23	11	0	1	0	0
22.086	0.5	0	23	13	0	1.5	0	0
22.624	1	0	23	16	0	2	0	0
22.903	1.5	0	23	17	0	2.5	0	0
22.996	2	0	23	20	0	3	0	0
23	2.082	0	23	21.458	0	4	0	0
23	3	0				5	0	0
23	5	0	200	34		6	0	0
23	7	0	0	0	0	9	0	0
23	9	0	0.5	0	0	10	0	0
23	11	0	1	0	0	12	0	0
23	13	0	1.5	0	0	14	0	0

16	0	0	22.886	5	0	23	21.458	0
18.938	0	0	22.97	7	0			
0	0	0	23	8.005	0	222	34	
19	0.002	0	23	9	0	0	0	0
21.443	0.5	0	23	11	0	0.5	0	0
22	0.961	0	23	13	0	1	0	0
22.035	1	0	23	16	0	1.5	0	0
22.393	1.5	0	23	17	0	2	0	0
22.621	2	0	23	20	0	2.5	0	0
22.873	3	0	23	21.458	0	3	0	0
23	4.807	0				4	0	0
23	5	0	218	34		5	0	0
23	7	0	0	0	0	6	0	0
23	9	0	0.5	0	0	9	0	0
23	11	0	1	0	0	10	0	0
23	13	0	1.5	0	0	12	0	0
23	16	0	2	0	0	14	0	0
23	17	0	2.5	0	0	15.495	0	0
23	20	0	3	0	0	0	0	0
23	21.458	0	4	0	0	16	0.025	0
			5	0	0	19	0.471	0
214	34		6	0	0	19.091	0.5	0
0	0	0	9	0	0	20.205	1	0
0.5	0	0	10	0	0	20.874	1.5	0
1	0	0	12	0	0	21.302	2	0
1.5	0	0	14	0	0	21.809	3	0
2	0	0	16	0	0	22	3.611	0
2.5	0	0	16.857	0	0	22.245	5	0
3	0	0	0	0	0	22.435	7	0
4	0	0	19	0.194	0	22.596	9	0
5	0	0	20.126	0.5	0	22.6	9.059	0
6	0	0	21.043	1	0	22.724	11	0
9	0	0	21.572	1.5	0	22.829	13	0
10	0	0	21.909	2	0	22.932	16	0
12	0	0	22	2.172	0	22.95	17	0
14	0	0	22.32	3	0	22.984	20	0
16	0	0	22.652	5	0	22.996	21.458	0
18.035	0	0	22.804	7	0			
0	0	0	22.899	9	0	226	34	
19	0.062	0	22.899	9	0	0	0	0
20.943	0.5	0	22.965	11	0	0.5	0	0
21.651	1	0	22.996	13	0	1	0	0
22	1.416	0	23	13.685	0	1.5	0	0
22.058	1.5	0	23	16	0	2	0	0
22.329	2	0	23	17	0	2.5	0	0
22.634	3	0	23	20	0	3	0	0

4	0	0	16.103	0.5	0	21.102	11	0
5	0	0	17.522	1	0	21.398	13	0
6	0	0	18.444	1.5	0	21.842	16	0
9	0	0	19	1.921	0	21.994	17	0
10	0	0	19.089	2	0	22	17.038	0
12	0	0	19.925	3	0	22.42	20	0
13.905	0	0	20.591	5	0	22.61	21.564	0
0	0	0	20.944	7	0			
14	0.004	0	21.267	9	0	234	34	
16	0.151	0	21.277	9.071	0	0	0	0
17.754	0.5	0	21.549	11	0	0.5	0	0
19	0.967	0	21.807	13	0	1	0	0
19.066	1	0	22	14.541	0	1.5	0	0
19.862	1.5	0	22.185	16	0	2	0	0
20.394	2	0	22.307	17	0	2.5	0	0
21.034	3	0	22.624	20	0	3	0	0
21.56	5	0	22.754	21.516	0	4	0	0
21.813	7	0				5	0	0
22	8.643	0	232	34		6	0	0
22.038	9	0	0	0	0	9	0	0
22.046	9.071	0	0.5	0	0	10	0	0
22.24	11	0	1	0	0	10.038	0	0
22.422	13	0	1.5	0	0	0	0	0
22.672	16	0	2	0	0	12	0.107	0
22.739	17	0	2.5	0	0	14	0.449	0
22.883	20	0	3	0	0	14.19	0.5	0
22.934	21.466	0	4	0	0	15.633	1	0
			5	0	0	16	1.163	0
230	34		6	0	0	16.645	1.5	0
0	0	0	9	0	0	17.382	2	0
0.5	0	0	10	0	0	18.396	3	0
1	0	0	11.077	0	0	19	4.055	0
1.5	0	0	0	0	0	19.298	5	0
2	0	0	12	0.04	0	19.785	7	0
2.5	0	0	14	0.238	0	20.202	9	0
3	0	0	15.176	0.5	0	20.216	9.071	0
4	0	0	16	0.759	0	20.555	11	0
5	0	0	16.614	1	0	20.889	13	0
6	0	0	17.588	1.5	0	21.405	16	0
9	0	0	18.284	2	0	21.591	17	0
10	0	0	19	2.713	0	22	19.196	0
12	0	0	19.218	3	0	22.144	20	0
12.073	0	0	19.99	5	0	22.415	21.627	0
0	0	0	20.406	7	0			
14	0.117	0	20.781	9	0	236	34	
16	0.473	0	20.793	9.071	0	0	0	0

0.5	0	0	0	0	0	16.397	5	0
1	0	0	9	0.046	0	17.106	7	0
1.5	0	0	10	0.117	0	17.563	9	0
2	0	0	12	0.487	0	17.578	9.075	0
2.5	0	0	12.047	0.5	0	17.96	11	0
3	0	0	13.474	1	0	18.426	13	0
4	0	0	14	1.236	0	19	15.068	0
5	0	0	14.509	1.5	0	19.294	16	0
6	0	0	15.285	2	0	19.626	17	0
8.969	0	0	16	2.605	0	20.717	20	0
0	0	0	16.371	3	0	21.403	21.883	0
9	0.001	0	17.534	5	0			
10	0.042	0	18.178	7	0	242	33	
12	0.237	0	18.63	9	0	0	0	0
13.147	0.5	0	18.644	9.072	0	0.5	0	0
14	0.773	0	19	10.9	0	1	0	0
14.587	1	0	19.02	11	0	1.5	0	0
15.619	1.5	0	19.432	13	0	2	0	0
16	1.733	0	20.147	16	0	2.5	0	0
16.382	2	0	20.419	17	0	3	0	0
17.448	3	0	21.303	20	0	4	0	0
18.492	5	0	21.822	21.789	0	5	0	0
19	6.77	0				5.817	0	0
19.057	7	0	240	33		0	0	0
19.498	9	0	0	0	0	6	0.007	0
19.513	9.071	0	0.5	0	0	9	0.305	0
19.874	11	0	1	0	0	9.717	0.5	0
20.245	13	0	1.5	0	0	10	0.591	0
20.847	16	0	2	0	0	11.06	1	0
21.071	17	0	2.5	0	0	12	1.457	0
21.776	20	0	3	0	0	12.077	1.5	0
22	20.987	0	4	0	0	12.845	2	0
22.156	21.703	0	5	0	0	13.884	3	0
			6	0	0	14	3.147	0
238	33		6.834	0	0	15.088	5	0
0	0	0	0	0	0	15.83	7	0
0.5	0	0	9	0.127	0	16	7.665	0
1	0	0	10	0.276	0	16.293	9	0
1.5	0	0	10.896	0.5	0	16.31	9.08	0
2	0	0	12	0.879	0	16.693	11	0
2.5	0	0	12.294	1	0	17.225	13	0
3	0	0	13.324	1.5	0	18.287	16	0
4	0	0	14	1.928	0	18.693	17	0
5	0	0	14.1	2	0	19	17.727	0
6	0	0	15.176	3	0	20.011	20	0
7.892	0	0	16	4.208	0	20.882	21.98	0

			4	0.003	0	11.178	7	0
244	33		5	0.064	0	11.553	9	0
0	0	0	6	0.171	0	11.569	9.093	0
0.5	0	0	7.338	0.5	0	11.929	11	0
1	0	0	8.525	1	0	12	11.259	0
1.5	0	0	9	1.245	0	12.661	13	0
2	0	0	9.448	1.5	0	14	15.412	0
2.5	0	0	10	1.867	0	14.364	16	0
3	0	0	10.173	2	0	14.991	17	0
4	0	0	11.108	3	0	16	18.573	0
4.847	0	0	12	4.652	0	16.938	20	0
0	0	0	12.15	5	0	18.428	22.282	0
5	0.006	0	12.833	7	0			
6	0.059	0	13.273	9	0	250	32	
8.529	0.5	0	13.291	9.09	0	0	0	0
9	0.666	0	13.662	11	0	0.5	0	0
9.795	1	0	14	12.126	0	1	0	0
10	1.095	0	14.338	13	0	1.5	0	0
10.78	1.5	0	15.837	16	0	2	0	0
11.535	2	0	16	16.292	0	2.315	0	0
12	2.407	0	16.397	17	0	0	0	0
12.522	3	0	18.156	20	0	2.5	0.015	0
13.656	5	0	19	21.434	0	3	0.065	0
14	5.81	0	19.432	22.181	0	4	0.224	0
14.392	7	0				4.921	0.5	0
14.855	9	0	248	32		5	0.532	0
14.872	9.085	0	0	0	0	5.991	1	0
15.251	11	0	0.5	0	0	6	1.005	0
15.856	13	0	1	0	0	6.75	1.5	0
16	13.382	0	1.5	0	0	7.324	2	0
17.136	16	0	2	0	0	8.133	3	0
17.621	17	0	2.5	0	0	9	4.983	0
19	19.682	0	3	0	0	9.005	5	0
19.167	20	0	3.09	0	0	9.41	7	0
20.236	22.08	0	0	0	0	9.664	9	0
			4	0.067	0	9.675	9.094	0
246	33		5	0.196	0	10	10.997	0
0	0	0	6	0.452	0	10.001	11	0
0.5	0	0	6.134	0.5	0	10.757	13	0
1	0	0	7.264	1	0	12	15.068	0
1.5	0	0	8.102	1.5	0	12.637	16	0
2	0	0	8.762	2	0	13.329	17	0
2.5	0	0	9	2.221	0	14	17.961	0
3	0	0	9.644	3	0	15.469	20	0
3.933	0	0	10	3.594	0	16	20.732	0
0	0	0	10.6	5	0	17.186	22.384	0

			4	0.631	0	9	15.578	0
251	32		4.678	1	0	9.335	16	0
0	0	0	5	1.211	0	10	16.828	0
0.5	0	0	5.372	1.5	0	10.139	17	0
1	0	0	5.882	2	0	12	19.222	0
1.5	0	0	6	2.136	0	12.668	20	0
1.95	0	0	6.605	3	0	14	21.559	0
0	0	0	7.371	5	0	14.825	22.542	0
2	0.005	0	7.534	7	0			
2.5	0.059	0	7.587	9	0	254	30	
3	0.133	0	7.591	9.094	0	0	0	0
4	0.38	0	7.82	11	0	0.5	0	0
4.318	0.5	0	8.533	13	0	0.953	0	0
5	0.816	0	9	13.824	0	0	0	0
5.339	1	0	10	15.28	0	1	0.006	0
6	1.447	0	10.543	16	0	1.5	0.096	0
6.066	1.5	0	11.308	17	0	2	0.235	0
6.603	2	0	12	17.891	0	2.5	0.445	0
7.368	3	0	13.694	20	0	2.605	0.5	0
8.191	5	0	14	20.379	0	3	0.738	0
8.483	7	0	15.685	22.488	0	3.39	1	0
8.648	9	0				4	1.5	0
8.655	9.094	0	253	31		4	1.5	0
8.944	11	0	0	0	0	4.465	2	0
9	11.222	0	0.5	0	0	5	2.781	0
9.691	13	0	1	0	0	5.119	3	0
10	13.562	0	1.272	0	0	5.751	5	0
11.644	16	0	0	0	0	5.635	7	0
12	16.489	0	1.5	0.029	0	5.411	9	0
12.37	17	0	2	0.117	0	5.405	9.094	0
14	19.183	0	2.5	0.244	0	5.425	11	0
14.624	20	0	3	0.43	0	5.96	13	0
16	21.81	0	3.15	0.5	0	6	13.087	0
16.47	22.436	0	4	0.985	0	8.023	16	0
			4.022	1	0	8.869	17	0
252	31		4.679	1.5	0	9	17.153	0
0	0	0	5	1.814	0	10	18.292	0
0.5	0	0	5.166	2	0	11.546	20	0
1	0	0	5.853	3	0	12	20.499	0
1.5	0	0	6	3.281	0	13.883	22.598	0
1.601	0	0	6.555	5	0			
0	0	0	6.579	7	0	255	30	
2	0.047	0	6.501	9	0	0	0	0
2.5	0.128	0	6.5	9.094	0	0.5	0	0
3	0.243	0	6.643	11	0	0.647	0	0
3.724	0.5	0	7.288	13	0	0	0	0

1	0.066	0	3.35	9	0	4.375	17	0
1.5	0.213	0	3.331	9.094	0	5	17.591	0
2	0.441	0	3	10.691	0	6	18.514	0
2.101	0.5	0	2.952	11	0	7.618	20	0
2.5	0.772	0	3	12.938	0	9	21.289	0
2.801	1	0	3.017	13	0	10	22.239	0
3	1.165	0	4	14.786	0	10.553	22.771	0
3.356	1.5	0	5	15.928	0			
3.792	2	0	5.067	16	0	258	40	
4	2.286	0	6	16.984	0	0	0.177	0
4.41	3	0	6.016	17	0	0	0.177	0
4.969	5	0	9	19.977	0	0.5	0.303	0
4.72	7	0	9.024	20	0	0.806	0.5	0
4.347	9	0	10	20.964	0	1	0.663	0
4.335	9.094	0	11.745	22.714	0	1.348	1	0
4.187	11	0				1.5	1.171	0
4.542	13	0	257	36		1.751	1.5	0
5	13.918	0	0	0.027	0	2	1.887	0
6	15.293	0	0	0.027	0	2.066	2	0
6.607	16	0	0.5	0.107	0	2.5	2.908	0
7.498	17	0	1	0.354	0	2.534	3	0
9	18.612	0	1.218	0.5	0	2.847	5	0
10	19.656	0	1.5	0.725	0	2.5	6.549	0
10.331	20	0	1.798	1	0	2.338	7	0
12	21.745	0	2	1.213	0	2	7.891	0
12.856	22.655	0	2.24	1.5	0	1.547	9	0
			2.5	1.859	0	1.504	9.094	0
256	33		2.594	2	0	1	10.089	0
0	0	0	3	2.732	0	0.566	11	0
0.359	0	0	3.115	3	0	0.5	11.15	0
0	0	0	3.511	5	0	0	12.023	0
0.5	0.022	0	3.069	7	0	0	12.023	0
1	0.171	0	3	7.213	0	0	14.919	0
1.5	0.411	0	2.5	8.777	0	0	14.919	0
1.642	0.5	0	2.432	9	0	0.5	15.226	0
2	0.767	0	2.402	9.094	0	1	15.649	0
2.273	1	0	2	10.223	0	1.394	16	0
2.5	1.214	0	1.732	11	0	1.5	16.095	0
2.768	1.5	0	1.5	11.843	0	2	16.545	0
3	1.781	0	1.417	13	0	2.5	16.994	0
3.164	2	0	1.5	13.454	0	2.507	17	0
3.739	3	0	2	14.493	0	3	17.431	0
4	3.717	0	2.5	15.122	0	4	18.268	0
4.218	5	0	3	15.654	0	5	19.091	0
4	6.46	0	3.346	16	0	6	19.925	0
3.859	7	0	4	16.639	0	6.089	20	0

9	22.562	0	1.408	3	0
9.288	22.827	0	1.5	3.355	0
1.5	9.094	0	1.57	5	0
			1.5	5.378	0
259	33		1	6.647	0
0	0.528	0	0.791	7	0
0	0.528	0	0.5	7.421	0
0.5	0.701	0	0	7.955	0
0.865	1	0	0	7.955	0
1	1.145	0	0	19.174	0
1.268	1.5	0	0	19.174	0
1.5	1.893	0	0.5	19.277	0
1.557	2	0	1	19.445	0
1.977	3	0	1.5	19.665	0
2	3.075	0	2	19.925	0
2.211	5	0	2.133	20	0
2	6.027	0	2.5	20.213	0
1.62	7	0	3	20.518	0
1.5	7.264	0	4	21.161	0
1	8.237	0	5	21.843	0
0.516	9	0	6	22.569	0
0.5	9.023	0	6.467	22.924	0
0.452	9.094	0			
0	9.627	0	261	18	
0	9.627	0	0	2.332	0
0	17.239	0	0	2.332	0
0	17.239	0	0.5	2.726	0
0.5	17.395	0	0.662	3	0
1	17.634	0	0.821	5	0
1.5	17.937	0	0.5	5.825	0
2	18.28	0	0	6.478	0
2.5	18.641	0	0	6.478	0
3	19.009	0	0	21.1	0
4	19.743	0	0	21.1	0
4.348	20	0	0.5	21.155	0
5	20.489	0	1	21.259	0
6	21.266	0	1.5	21.406	0
7.948	22.878	0	2	21.591	0
			2.5	21.806	0
260	28		3	22.045	0
0	1.17	0	4	22.584	0
0	1.17	0	4.642	22.965	0
0.5	1.389	0			
0.627	1.5	0			
0.989	2	0			
1	2.02	0			

arah 0

kh	d/t	surge (m)	sway (m)	heave (m)	roll (m)	pitch (m)	yaw (m)
1.3	1.2	6.1	0.0	1.0	0.0	0.8	0.0
1.4	1.4	5.8	0.0	1.0	0.0	0.8	0.0
1.5	1.5	5.6	0.0	1.0	0.0	0.8	0.0
1.6	1.6	5.5	0.0	1.0	0.0	0.8	0.0
1.8	1.8	5.2	0.0	1.0	0.0	0.7	0.0
2	1.9	5.0	0.0	1.0	0.0	0.7	0.0
2.2	2.2	4.8	0.0	1.0	0.0	0.7	0.0
2.5	2.5	4.5	0.0	1.0	0.0	0.7	0.0
3	2.9	4.4	0.0	1.0	0.0	0.7	0.0

arah 45

kh	d/t	surge (m)	sway (m)	heave (m)	roll (m)	pitch (m)	yaw (m)
1.3	1.2	4.6	4.5	1.0	1.8	9.9	1.2
1.4	1.4	4.4	4.4	1.0	1.3	9.0	1.0
1.5	1.5	4.2	4.2	1.0	0.8	8.7	1.0
1.6	1.6	4.1	4.1	1.0	0.5	8.5	0.9
1.8	1.8	3.9	3.9	1.0	0.1	8.3	0.8
2	1.9	3.7	3.7	1.0	0.1	8.3	0.7
2.2	2.2	3.5	3.5	1.0	0.3	8.4	0.6
2.5	2.5	3.3	3.3	1.0	0.6	8.5	0.6
3	2.9	3.0	3.0	1.0	0.8	8.7	0.5

arah 90

kh	d/t	surge (m)	sway (m)	heave (m)	roll (m)	pitch (m)	yaw (m)
1.3	1.2	0.1	6.8	1.2	13.3	1.0	0.0
1.4	1.4	0.1	6.5	1.2	12.1	0.3	0.0
1.5	1.5	0.1	6.2	1.2	10.0	0.3	0.0
1.6	1.6	0.1	6.0	1.2	10.3	0.3	0.0
1.8	1.8	0.1	5.7	1.2	11.7	0.3	0.0
2	1.9	0.1	5.4	1.2	12.6	0.3	0.0
2.2	2.2	0.0	5.1	1.2	14.3	0.3	0.0
2.5	2.5	0.0	4.8	1.2	14.9	0.3	0.0
3	2.9	0.0	4.4	1.2	6.2	0.3	0.0

arah 135

kh	d/t	surge (m)	sway (m)	heave (m)	roll (m)	pitch (m)	yaw (m)
1.3	1.2	4.6	4.6	1.0	1.7	0.8	1.2
1.4	1.4	4.4	4.4	1.0	1.4	0.8	1.0
1.5	1.5	4.2	4.2	1.0	1.5	0.8	1.0
1.6	1.6	4.0	4.1	1.0	1.6	0.8	0.9
1.8	1.8	3.9	3.9	1.0	1.6	0.8	0.8
2	1.9	3.7	3.7	1.0	1.5	0.8	0.7
2.2	2.2	3.5	3.5	1.0	1.3	0.8	0.6
2.5	2.5	3.4	3.3	1.0	1.1	0.8	0.6
3	2.9	3.0	3.1	1.0	0.8	0.8	0.5

arah 180

kh	d/t	surge (m)	sway (m)	heave (m)	roll (m)	pitch (m)	yaw (m)
1.3	1.2	6.1	0.0	0.9	0.0	0.8	0.0
1.4	1.4	5.8	0.0	0.9	0.0	0.7	0.0
1.5	1.5	5.7	0.0	0.9	0.0	0.7	0.0
1.6	1.6	5.5	0.0	0.9	0.0	0.7	0.0
1.8	1.8	5.2	0.0	0.9	0.0	0.7	0.0
2	1.9	5.0	0.0	0.9	0.0	0.7	0.0
2.2	2.2	4.8	0.0	0.9	0.0	0.7	0.0
2.5	2.5	4.5	0.0	0.9	0.0	0.7	0.0
3	2.9	4.4	0.0	0.9	0.0	0.7	0.0

arah 0

kh	D/T	surge (m)	sway (m)	heave (m)	roll (m)	pitch (m)	yaw (m)
1.3	1.2	6.84	6.84	3.82	12.40	12.40	0.00
1.4	1.4	6.54	6.54	3.80	11.90	11.90	0.00
1.5	1.5	6.27	6.27	3.76	11.40	11.40	0.00
1.6	1.6	6.04	6.04	3.72	11.10	11.10	0.00
1.8	1.8	5.73	5.73	3.65	10.60	10.60	0.00
2	1.9	5.47	5.47	3.60	10.20	10.20	0.00
2.2	2.2	5.17	5.17	3.56	9.70	9.70	0.00
2.5	2.5	4.85	4.85	3.52	9.30	9.30	0.00
3	2.9	4.46	4.46	3.50	8.81	8.81	0.00

arah 45

kh	D/T	surge (m)	sway (m)	heave (m)	roll (m)	pitch (m)	yaw (m)
1.3	1.2	4.56	4.50	0.97	1.80	9.90	1.15
1.4	1.4	4.36	4.39	0.97	1.25	9.00	1.04
1.5	1.5	4.19	4.22	0.97	0.77	8.70	0.95
1.6	1.6	4.05	4.08	0.97	0.45	8.50	0.87
1.8	1.8	3.85	3.88	0.97	0.13	8.30	0.79
2	1.9	3.69	3.72	0.97	0.12	8.30	0.71
2.2	2.2	3.50	3.50	0.97	0.34	8.40	0.63
2.5	2.5	3.30	3.30	0.97	0.56	8.48	0.56
3	2.9	3.00	3.00	0.97	0.76	8.70	0.47

arah 90

kh	D/T	surge (m)	sway (m)	heave (m)	roll (m)	pitch (m)	yaw (m)
1.3	1.2	0.08	6.79	1.20	13.30	0.99	0.00
1.4	1.4	0.08	6.49	1.20	12.10	0.29	0.00
1.5	1.5	0.06	6.23	1.20	10.00	0.27	0.00
1.6	1.6	0.06	5.99	1.20	10.30	0.27	0.00
1.8	1.8	0.05	5.69	1.20	11.73	0.26	0.00
2	1.9	0.05	5.43	1.20	12.60	0.26	0.00
2.2	2.2	0.05	5.13	1.20	14.30	0.26	0.00
2.5	2.5	0.04	4.82	1.20	14.90	0.28	0.00
3	2.9	0.04	4.42	1.20	6.20	0.30	0.00

arah 135

kh	D/T	surge	sway	heave	roll	pitch	yaw
1.3	1.2	4.56	4.57	9.70	1.70	0.78	1.15
1.4	1.4	4.36	4.39	9.70	1.39	0.77	1.04
1.5	1.5	4.20	4.22	9.70	1.53	0.76	0.95
1.6	1.6	4.00	4.08	9.70	1.59	0.76	0.87
1.8	1.8	3.86	3.88	9.70	1.57	0.75	0.79
2	1.9	3.69	3.72	9.70	1.47	0.75	0.71
2.2	2.2	3.50	3.52	9.70	1.29	0.76	0.63
2.5	2.5	3.36	3.30	9.70	1.06	0.77	0.56
3	2.9	3.04	3.06	9.70	0.78	0.80	0.47

arah 180

kh	D/T	surge (m)	sway (m)	heave (m)	roll (m)	pitch (m)	yaw (m)
1.3	1.2	6.10	0.00	9.35	0.00	0.78	0.00
1.4	1.4	5.84	0.00	9.35	0.00	0.73	0.00
1.5	1.5	5.65	0.00	9.35	0.00	0.72	0.00
1.6	1.6	5.47	0.00	9.35	0.00	0.71	0.00
1.8	1.8	5.24	0.00	9.35	0.00	0.70	0.00
2	1.9	5.03	0.00	9.35	0.00	0.70	0.00
2.2	2.2	4.79	0.00	9.35	0.00	0.69	0.00
2.5	2.5	4.53	0.00	9.35	0.00	0.70	0.00
3	2.9	4.20	0.00	9.35	0.00	0.70	0.00

BAB V

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang dilakukan mengenai dampak variasi kedalaman terhadap performa *CALM Buoy* pada perairan dangkal dihasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Nilai maksimum gerakan RAO dari kapal memiliki perbedaan berdasarkan kedalaman perairan. Untuk nilai tertinggi gerakan RAO untuk gerakan *surge*, *sway*, dan *yaw* terjadi pada kedalaman dan frekuensi paling rendah yaitu saat kedalaman 21 m dan frekuensi 0.1 rad/sec. Nilainya turun secara signifikan mengikuti perubahan kedalaman sesuai dengan pola orbital partikel. Sedangkan untuk gerakan *heave*, *roll*, dan *pitch* memiliki nilai maksimum pada frekuensi tinggi dan tidak dipengaruhi oleh perubahan kedalaman.
- Nilai maksimum gerakan RAO dari *CALM Buoy* dipengaruhi oleh perbedaan kedalaman. Hal ini dikarenakan oleh bentuk dari struktur *CALM Buoy* yang berupa silinder sehingga tidak ada pengaruh dari perubahan frekuensi dari gelombang karena gelombang tidak terdifraksi.
- Nilai respon kapal di gelombang acak untuk gerakan *surge*, *sway* dan *heave* dipengaruhi oleh variasi kedalaman sedangkan untuk gerakan *roll*, *pitch* dan *yaw* tidak dipengaruhi oleh variasi kedalaman. Untuk gerakan *heave* dimana pada analisis RAO memiliki perubahan yang tidak begitu signifikan terhadap variasi kedalaman mulai terlihat perbedaan nilainya ketika dimasukkan ke dalam spektra respon.
- Nilai respon di gelombang acak *CALM Buoy* untuk semua gerakan dipengaruhi oleh variasi kedalaman karena nilai respon mengikuti dari nilai RAO dimana pada gerak *CALM Buoy* tidak dipengaruhi oleh perubahan kedalaman.
- *Tension* pada *mooring line* baik pada kondisi *inline* maupun kondisi *betweenline* dipengaruhi oleh variasi kedalaman. Bila pada analisis gerakan pada struktur semakin dalam wilayah perairan maka gerakan struktur semakin kecil, maka pada analisis *tension* pada *mooring line* justru memiliki nilai

kebalikannya. Peningkatan *tension* kondisi *inline* dari kedalaman 21 m hingga 50 m mengalami peningkatan sebesar 29 % sedangkan untuk kondisi *betweenline* sebesar 39%. Hal ini dikarenakan *tension* yang dihasilkan lebih disebabkan oleh meningkatnya nilai *heave* dan *offset* pada variasi kedalaman.

- *Offset* pada *CALM Buoy* baik pada kondisi *inline* maupun kondisi *betweenline* dipengaruhi oleh variasi kedalaman. *Offset* tertinggi kondisi *inline* terjadi pada kedalaman 50 m sejauh 5.84 m. Sedangkan *offset* terjauh kondisi *betweenline* terjadi pada kedalaman 48 m sejauh 4.47 m, hal ini dikarenakan pada kondisi *betweenline* kedalaman 50 m menggunakan *pre-tension* sebesar 15% MBL.
- *Tension mooring line* untuk kondisi *inline* maupun *betweenline* memiliki tren peningkatan nilai bersamaan dengan bertambahnya kedalaman. Nilai *tension* signifikan kondisi *inline* kedalaman 21 m sebesar 762.45 KN terus naik hingga pada kedalaman 50 m memiliki *tension* signifikan sebesar 1084.5 KN. Nilai *tension* signifikan kondisi *betweenline* kedalaman 21 m sebesar 708.58 KN terus naik hingga pada kedalaman 50 m memiliki *tension* signifikan sebesar 1189.1 KN. Untuk kondisi *inline* tren nilai *tension* mulai terlihat *steady* ketika dari kedalaman 42 m menuju ke kedalaman 50 m. Namun untuk kondisi *betweenline* masih belum diketahui pada kedalaman berapa tren *tension* mulai *steady* dikarenakan pada saat kedalaman 50 m menggunakan *pre-tension* yang berbeda dari kedalaman-kedalaman sebelumnya sehingga tren *tension* masih terlihat cenderung meningkat signifikan.

5.2 SARAN

Saran yang diberikan untuk penelitian lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk parameter lingkungan dapat diganti dari variasi kedalaman ke variasi panjang gelombang sebagai variabel bebas pada *non-dimensional water depth (kh)*.
2. Untuk parameter struktur dapat melakukan variasi tinggi sarat air pada kapal dengan kedalaman perairan yang tetap untuk mengetahui bagaimana pengaruh parameter struktur terhadap *tension* pada *mooring line*.

3. Dapat meneruskan variasi kedalaman dari *shallow water* hingga ke *deep water* untuk mengetahui sampai kedalaman berapa tren *tension* dan *offset* mencapai keadaan *steady*.
4. Menambahkan pengaruh efek *shoaling* terhadap performa pada *CALM Buoy*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- ABS MODU, 1998, “*ABS For Building and Classing Mobile Offshore Drilling Units and The 1989 IMO MODU CODE*”, United States.
- API RP 2SK 2nd edition, 1996, “*Recommended Practice for Design and Analysis of Station Keeping Systems for Floating Structures*”, Washington, DC.
- Ahmad, M.M. 2013. “*Analysis on the Effect of Buoy Variation In the Performance of Mooring System for FPSO Brotojoyo*”. *Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Arun, S. 2004. “*Global Analysis of Shallow Water FPSOs*”, Offshore Technology Conference, Houston.
- BV (2014), “*Ariane7 User Manual*”, Bureau Veritas, Paris.
- BV (2015), “*HydroSTAR v.7.25 for Expert User Manual*”, Bureau Veritas, Paris.
- Chakrabarti, S.K. 1987. *Hydrodynamic of Offshore Structures*. Boston, USA : Computational Mechanics Publications Southampton.
- Cozijn, J.L. 2004, “*Coupled Mooring Analysis for Deep Water Calm Buoy*” 23rd International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Vancouver.
- Chen, X. 2011. “*Offshore Hydrodynamics and Applications*”, The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering, Vol. 4, No. 3, Aug. pp. 124-142.
- Djarmiko, E.B. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut Di Atas Gelombang Acak*. Surabaya : ITS Press.
- D. J. Wang, S. P. Sun, "An Analytical Solution of Wave Exciting Loads on CALM Buoy with Skirt", *Applied Mechanics and Materials*, Vols. 477-478, pp. 254-258, 2014
- DNV OS E301, 2004, “*Position Mooring*”, Det Norske Veritas, Norway.
- DNV RP C205, 2010, “*Environmental Conditions and Environmental Loads*”, Det Norske Veritas , Norway.
- Faltinsen, O.M. 1990, “*Sea Loads On Ships And Offshore Structures*”. United Kingdom : Cambridge University Press.
- Folley, M. 2005, “*The Performance Of A Wave Energy Converter In Shallow Water*”, 6th European Wave and Tidal Energy Conference, Glasgow.

- Krismanto, D. 2011. “Variasi Floater Pada *MORING Line Single Buoy Mooring*”.
Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan. Institut Teknologi Sepuluh
 Nopember, Surabaya.
- Kwan, C.T. dan Bruen, F. J., 1991, “*Mooring Line Dynamics: Comparison of Time
 Domain, Frequency Domain, and Quasi-Static Analyses*”, Offshore
 Technology Conference: 6-9 Mei 1991.
- Lin, Z. 2015, “*Influence Of Water Depth Variation On The Hydrodynamics Of
 Deep-Water Mooring Characteristics*”, Journal of Ocean Engineering,
 Glasgow.
- OCIMF. 1997. *Mooring Equipment Guidelines 2nd Edition*. United Kingdom :
 Witherby Seamanship International.
- OCIMF. 2008. *Mooring Equipment Guidelines 3rd Edition*. United Kingdom :
 Witherby Seamanship International.
- Vantorre, M. 2013, “Ship Behavior In Shallow And Confined Water”, NATO
 UNCLASSIFIED + SWE. Belgium.
- Wichers, J. 1988. Wave-Current Interaction Effects on Moored Tankers in High
 Seas. Netherlands: MARIN.
- Wichers, J. 2013. Guide To Single Point Mooring. Netherlands: MARIN.

BIODATA PENULIS



Rizki Kresna Wibowo dilahirkan di Bojonegoro pada 29 Maret 1994 yang merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Pendidikan di SD Keboansikep IV Sidoarjo, SMPN 5 Sidoarjo dan SMAN 6 Surabaya. Setelah itu penulis mengikuti Seleksi Penerimaan Mahasiswa Baru melalui jalur Ujian Tulis SNMPTN dan diterima di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama kuliah, penulis sempat aktif menjadi staff syiar LDJ Bahrul Ilmi 13/14. Penulis juga aktif menjadi panitia kegiatan kampus baik di bidang akademik maupun non akademik. Penulis pernah mengikuti pelatihan *software* Hidrodinamik (*HydroSTAR* dan *Ariane*) yang diadakan oleh *Bureau Veritas*. Penulis juga pernah bekerja praktek di PT. Encona Inti Industri. Bidang keahlian di Jurusan Teknik Kelautan yang diambil oleh penulis adalah hidrodinamika lepas pantai sehingga Tugas Akhir yang diambil berhubungan dengan mata kuliah Olah Gerak Bangunan Apung.